

**OBTENCIÓN DE BUÑUELOS POR MEDIO DE FREÍDO POR INMERSIÓN  
EMPLEANDO HARINA DE FRIJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata*)**

**CARLOS ANDRÉS ESPITIA NEGRETE**

**MARÍA CAMILA PETRO MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**BERÁSTEGUI - CÓRDOBA**

**2016**

**OBTENCIÓN DE BUÑUELOS POR MEDIO DE FREÍDO POR INMERSIÓN  
EMPLEANDO HARINA DE FRIJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata*)**

**CARLOS ANDRÉS ESPITIA NEGRETE**

**MARÍA CAMILA PETRO MARTÍNEZ**

**ARMANDO ALVIS BERMUDEZ Ing. Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**BERÁSTEGUI-CÓRDOBA**

**2016**

El informe final del trabajo de grado titulado **OBTENCIÓN DE BUÑUELOS POR MEDIO DE FREÍDO POR INMERSIÓN EMPLEANDO HARINA DE FRIJOL CAUPÍ** (*Vigna unguiculata*) presentado por los estudiantes **CARLOS ANDRÉS ESPITIA NEGRETE** y **MARÍA CAMILA PETRO MARTÍNEZ**, en cumplimiento del requisito parcial para optar al título de Ingeniero de Alimentos, fue aprobado por el director del trabajo de grado el día \_\_\_\_ del mes \_\_\_\_\_ de 2016.

---

Ph.D. Armando Alvis Bermúdez

Director

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Montería, \_\_\_\_/\_\_\_\_ de 2016

## DEDICATORIA

A Dios por darnos las fuerzas y ser el guía que ha iluminado nuestras vidas y en especial nuestra formación académica.

A mi familia, en especial mi madre, Lucy, porque *‘ella siempre va a estar para mí’*.

*Carlos*

A Dios por darme la vida y la oportunidad de entrar a una carrera a la que no me gustaba para terminar descubriendo que para mí ahora, es la mejor del mundo.

A toda mi familia, pero principalmente a mis papás, esos que me brindaron un apoyo más que económico, emocional. Mi mamá que ha sido incondicional en los buenos y malos momentos, dándome el aliento siempre de seguir adelante. Son incontables los obstáculos en este andar como familia, pero este logro lo hemos obtenido juntos.

No podías faltar Carlitos, el amor es infinito. *“Este universo es gigantesco, menos mal que nos encontramos Madariaga”*.

*Camila*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra Alma Mater, la Universidad de Córdoba, en especial al Departamento de Ingeniería de Alimentos por albergarnos durante todo este tiempo.

A nuestro director, Armando Alvis Bermúdez, quien nos orientó durante todo el proceso y dispuso de su tiempo y conocimiento a nuestra orden.

Al Grupo de Investigación de Procesos y Agroindustria de Vegetales (GIPAVE), en especial a sus dos coordinadores, Ing. Ph.D. Armando Alvis Bermúdez y Ing. Ph.D. Guillermo Arrazola Paternina, por permitirnos desarrollar la presente investigación.

A Sindy Galvan por toda su ayuda, colaboración y acompañamiento en GIPAVE.

A los jurados, Dra. Claudia De Paula y M.Sc. Pedro Romero, por su tiempo y directrices.

A la señora Lidis por su labor y toda la colaboración prestada.

A todos los docentes por exigirnos lo mejor de nosotros para hacernos excelentes profesionales.

A todas las personas que de cualquier forma hicieron posible realizar este trabajo.

A todos MIL GRACIAS

*Carlos y Camila*

## RESUMEN

En la presente investigación se determinó la composición bromatológica del frijol caupí (*Vigna inguiculata*) y la harina obtenida de éste, así como la pérdida de humedad y la ganancia de aceite. Además, se determinó el coeficiente de difusión ( $Da$ ) a partir de la segunda ley de Fick en una dimensión, en buñuelos hechos con esta harina durante el procedimiento de freído por inmersión.

Leche y agua fueron utilizadas en diferentes proporciones para obtener dos formulaciones. Para la fritura, se empleó aceite de soya a temperaturas de 150, 160 y 170 °C; se observó una relación directa entre la temperatura y la evaporación de agua, especialmente sobre la formulación en la que únicamente se utilizó agua. De manera similar, con el paso del tiempo y el aumento de la temperatura, el contenido de aceite aumentó, de nuevo, siendo mayor para la formulación con agua, obteniéndose resultados entre 6.4 y 13.3%.

El coeficiente de difusión aumentó con el incremento de la temperatura, encontrándose valores entre  $3.64 \pm 0.53 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $6.49 \pm 0.83 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . El color de la corteza y la miga variaron con la formulación y aumento de la temperatura, haciéndose menos brillantes, menos rojos y menos amarillos.

Durante el proceso, las variables texturales estuvieron siempre en función de la temperatura y la formulación. Mediante el análisis sensorial se determinó que las formulaciones estudiadas son agradables para el consumidor y como resultado de la caracterización bromatológica se encontró que tanto el frijol caupí como la harina obtenida de éste, poseen contenidos elevados de proteínas y carbohidratos, fundamentales en el desarrollo y sostenimiento humano.

**Palabras clave:** Frijol Caupí, bromatología, coeficiente de difusión, color, textura, absorción de aceite, buñuelo.

## ABSTRACT

In this investigation the bromatological composition of cowpea (*Vigna inguiculata*) and the flour obtained from it, as well as moisture loss and gain of oil was determined. In addition, the diffusion coefficient ( $Da$ ) from Fick's second law in one dimension was defined over fritters made with this flour during the frying process by immersion.

Milk and water were used in different proportions in order to obtain two formulations. For frying purposes, soybean oil at temperatures of 150, 160 and 170 ° C was used and a direct relationship between temperature and water evaporation was found, especially on the formulation in which only water was used. Similarly, the oil content increased over time and temperature rise, again being higher for the formulation with water, yielding results between 6.4 and 13.3%.

The diffusion coefficient increased with temperature raise, with final values between  $3.64 \pm 0.53 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  and  $6.49 \pm 0.83 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . The crust and crumb color varied with the formulation and the increasing temperature, becoming less bright, less red and less yellow.

During the process, the textural variables were always in function of the temperature and formulation. By sensorial analysis it was determined that the formulations studied are pleasing to the consumer, and as a result of the bromatological characterization was found that both beans and cowpea flour obtained from it, have a high content of protein and carbohydrates, essential in the development and human sustenance.

**Keywords:** Cowpea, food science, diffusion coefficient, color, texture, oil absorption, fritter.



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT .....	viii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Caracterización del grano de frijol caupí .....	3
2.3 Caracterización de la harina .....	6
2.4 Proceso de freído .....	8
2.4.1 Freído por inmersión .....	9
2.4.2 Evaporación de agua y absorción grasa aceite .....	11
2.4.3 Modelado del proceso de freído por inmersión para el cálculo de coeficiente de difusividad del agua .....	13
2.5 Propiedades texturales.....	14
2.6 Color.....	18
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1 Tipo de investigación .....	21
3.2 Universo y localización del proyecto .....	21
3.3 Variables e indicadores .....	22
3.3.1 Variables independientes .....	22
3.3.2 Variables dependientes.....	22
3.4 Grano entero y acondicionamiento .....	22
3.5 Obtención de la harina .....	22
3.6 Caracterización de la harina .....	23
3.7 Freído por inmersión de buñuelos de frijol caupí .....	23
3.7.1 Cálculo de coeficiente de difusividad .....	25
3.8 Análisis del perfil de textura de los buñuelos .....	25
3.9 Evaluación del color de la harina y los buñuelos.....	25
3.10 Evaluación sensorial .....	25
3.11 Análisis estadístico.....	26
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Caracterización del grano entero y la harina.....	28
4.2 Freído por inmersión de buñuelos de frijol caupí .....	31

4.2.1 Pérdida de humedad y absorción de aceite durante el freído .....	31
4.2.2 Cálculo del coeficiente de difusividad .....	37
4.3 Evaluación del color.....	39
4.4 Análisis de perfil de textura (TPA) .....	42
4.4.1 Análisis de perfil de textura por doble compresión .....	42
4.4.2 Análisis de perfil de textura por punción .....	45
4.5 Evaluación sensorial.....	47
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>

## **TABLA DE FIGURAS Y GRÁFICAS**

Figura 1. Conformación y partes de grano.....	4
Figura 2. Gráfica general del análisis del perfil de textura por compresión. ....	16
Figura 3. Gráfica general para el análisis del perfil de textura por punción. ....	18
Figura 4. Representación de los parámetros $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en la escala CIELAB. ....	20
Gráfica 1. Evolución del contenido de humedad durante el freído.....	32
Gráfica 2. Evolución del contenido de aceite durante el freído.....	33

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de granos de caupí ( <i>Vigna unguiculata</i> ) representado en porcentaje de materia seca. ....	5
Tabla 2. Composición proximal del frijol caupí. ....	5
Tabla 3. Composición proximal de harina de frijol caupí.....	7
Tabla 4. Formulaciones de las masas preparadas a partir de frijol caupí.....	24
Tabla 5. Matriz de ordenamiento de ensayos con combinación de factores. ....	27
Tabla 6. Caracterización bromatológica del grano de frijol caupí y la harina de frijol. ..	28
Tabla 7. Coeficientes de difusividad (Da) para los diferentes tratamientos. ....	38
Tabla 8. Parámetros colorimétricos para la harina de frijol y los diferentes tratamientos.....	41
Tabla 9. Características de textura por doble compresión para los diferentes tratamientos.....	43
Tabla 10. Características de textura por punción para los diferentes tratamientos.....	46
Tabla 11. Valores promedios de los atributos sensoriales evaluados para buñuelos de frijol freídos a 150 °C. ....	47

## **LISTADO DE ANEXOS**

Anexo A. Formato de evaluación sensorial .....	45
Anexo B. Análisis de varianza y test de medias para los análisis realizados.....	66
Anexo C. Caracterización bromatológica de las masas de las formulaciones .....	75
Anexo D. Evidencias fotográficas de muestras para análisis de perfil de textura.....	76

## 1. INTRODUCCIÓN

El frijol caupí (*Vigna unguiculata*) es una leguminosa que representa una fuente de micro y macronutrientes (Plahar et al. 2006), es un alimento que se consume tradicionalmente en fechas especiales y en menor proporción en el resto del año, siendo el buñuelito costeño una de sus presentaciones; éste es un producto artesanal resultante de la mezcla de una pasta hecha de frijol molido, agua, especias, huevo, leche, entre otras. El proceso para fabricarlo incluye etapas como remojar las semillas, molerla, eliminar la cubierta de la semilla y una última molienda antes de obtener la pasta. En esta investigación se estudió una harina obtenida del grano seco de la variedad de frijol para facilitar la elaboración de los buñuelos y estudiar las características del producto final. El producto final tiene una corteza crujiente dorada, una miga suave y esponjosa, y un olor y sabor característicos. Su producción no está estandarizada, ni existe una caracterización del mismo, por lo que es una necesidad tecnológica obtener información sobre este producto para mejorar su calidad.

El freído por inmersión es la operación unitaria empleada en la elaboración de buñuelo. El aceite propicia la lubricación, transferencia de calor, absorción del mismo, mejora el sabor, la textura y la apariencia del alimento, forma la costra por interacción química y una serie de modificaciones estructurales y físico-químicas en el interior y exterior del

producto (Alvis et al. 2015).

No hay información sobre investigaciones relacionadas con la caracterización del buñuelo de frijol caupí, sin embargo Plahar et al. (2006) estudiaron el akara (pasta de frijol frito), los cambios del color y textura durante el freído por inmersión para diferentes tiempos y temperaturas con el fin de determinar los parámetros cinéticos en términos de velocidad de reacción constante y la energía de activación.

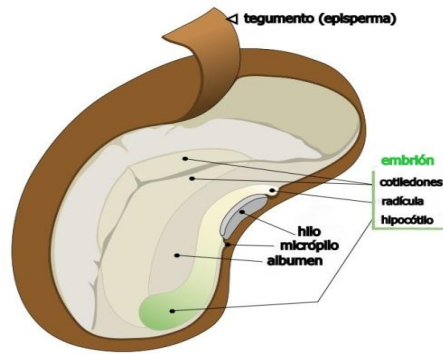
## **2. LITERATURA**

### **2.1 Caracterización del grano de frijol caupí**

Las semillas son de forma redonda, oval, cuadrada o cilíndrica y su tamaño oscila entre 4 y 8 mm de acuerdo con la variedad. Existen colores de semilla desde blanco, crema, rojo y negro y combinaciones de estos colores (FAO 2009). Su superficie es de textura arrugada, áspera o lisa. Según el tamaño de la semilla se clasifica como pequeño según la NTC 871 de 2005.

La semilla está compuesta por la cubierta o cáscara, los cotiledones, el embrión y el hilio u ojo de semilla como se observa en la Figura 1. La cobertura protectora o tegumento es la estructura externa que envuelve la semilla, representa la barrera entre el ambiente y las partes internas de la semilla; los cotiledones representan la mayor fracción de la semilla y en estos se almacenan las reservas de energía; el embrión tiene la función reproductiva de la semilla y el hilio conecta la semilla con la placenta y es el medio de ingreso directo de los nutrientes (Peralta 2010).





**Figura 1.** Conformación y partes de grano.

**Fuente:** Peralta (2010).

## 2.2 Composición química del grano de frijol caupí

El frijol caupí al igual que el resto de las leguminosas representan una buena fuente de micro y macronutrientes, esta contiene proteína en altas cantidades, alrededor del 16-26% (Peters et al. 2011), sin embargo otros autores reportan valores que oscilan entre 23,8 a 26,6% para este mismo nutriente. La proteína del caupí se complementa con otros productos como el arroz, plátano, maíz, yuca y contribuye enormemente a cumplir los requerimientos básicos nutricionales diarios. En la Tabla 1 se muestra la composición nutricional del frijol caupí y algunas de sus variedades de acuerdo a varios autores.

**Tabla 1.** Composición química de granos de caupí (*Vigna unguiculata*) representado en porcentaje de materia seca.

Cultivar	%Almidón	%Proteína cruda	%Extracto etéreo	%Fibra cruda	%Cenizas
<b>Caupí<sup>1</sup></b>	35,64	26,1	1,0	-	3,2
<b>Caupí grano<sup>2</sup></b>	-	23,8	1,7	-	-
<b>Vigna blanca<sup>3</sup></b>	-	26,0	2,1	5,4	5,0
<b>Vigna negra<sup>3</sup></b>	-	25,0	1,5	8,1	5,3
<b>Vigna verde<sup>3</sup></b>	-	24,0	1,7	5,5	4,2
<b>INIFAT 93<sup>4</sup></b>	-	25,4	3,2	6,6	4,7
<b>INIFAT 94<sup>4</sup></b>	-	26,6	2,4	7,8	4,3
<b>Cubanita 666<sup>4</sup></b>	-	25,4	2,5	5,6	3,7
<b>Trópico 782<sup>4</sup></b>	-	25,4	1,8	6,7	5,1

Fuente: <sup>1</sup>León et al. (1992); <sup>2</sup>Singh et al. (2006); <sup>3,4</sup>Díaz et al. (2002 a).

En la Tabla 2 se muestra la composición química del frijol caupí.

**Tabla 2.** Composición proximal del frijol caupí.

Componentes	Frijol Caupí (g/100g)
<b>Humedad</b>	6,0 ± 0,16
<b>Ceniza</b>	2,6 ± 0,05
<b>Proteínas</b>	24,5 ± 0,47
<b>Lípidos</b>	2,2 ± 0,02
<b>Fibras totales</b>	19,4 ± 1,07
<b>Insolubles</b>	16,6 ± 1,32
<b>Solubles</b>	2,7 ± 0,56
<b>Carbohidratos</b>	51,4 ± 0,63

Fuente: Macêdo et al. (2008).

### 2.3 Caracterización de la harina

La denominación de harina se concede comúnmente a la proveniente del trigo, esta se entiende el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura (CODEX STAN 152-1985). Los productos finamente triturados de otras materias primas deberán llevar añadido el nombre genérico de la harina del grano del cual procede, para nuestro caso será harina de frijol caupí.

La preparación de harinas puras o compuestas a base de leguminosas parte de un proceso de cocción, deshidratación y su posterior molienda (Romero 2006). La importancia de estas harinas poco convencionales a partir de leguminosas y la aplicación de tecnologías de transformación a la semilla de frijol ofrece diversas alternativas de aprovechamiento y comercialización de esta leguminosa, pudiendo usarse en la preparación de harinas compuestas basadas en diferentes leguminosas de grano, ya que es común combinar diversos tipos de frijoles como el caupí o el guandul para reducir el precio del producto y promover el cultivo de otros. Además incluirlas en la dieta de poblaciones vulnerables ofrece la posibilidad de incidir en la calidad de la alimentación, especialmente en los infantes, por medio de mezclas nutricionales balanceadas, además de ofrecer nuevas alternativas de consumo (Maldonado 2005). Por tal motivo se han estudiado las propiedades nutricionales de la harina de caupí por varios autores tal como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Composición proximal de harina de frijol caupí.

Componente	Cantidad en 100 g de harina <sup>1</sup>	Cantidad en 100 g (materia seca de grano crudo) <sup>2</sup>	Cantidad en 100 g (materia seca de grano cocido) <sup>2</sup>	Cantidad en 100 g <sup>3</sup>
<b>Materia seca</b>	-	91,3	93,2	-
<b>Humedad</b>	-	-	-	9,7 ± 0,11
<b>Carbohidratos</b>	-	-	-	61,8 ± 0,29
<b>Cenizas</b>	-	4,6	4,5	3,5 ± 0,06
<b>Proteínas</b>	20,3 ± 0,16 g	24,6	24,8	23,7 ± 0,35
<b>Extracto etéreo</b>	-	1,1	1,4	1,3 ± 0,02
<b>Lignina</b>	-	3,0	2,8	-
<b>Hemicelulosa</b>	-	6,7	6,9	-
<b>Celulosa</b>	-	3,4	4,6	-
<b>Energía bruta (kcal/Kg)</b>	-	4157,3	4048,8	-

Fuente: <sup>1</sup>Vargas et al. (2012); <sup>2</sup>López (2012); <sup>3</sup>Abu et al. (2005).

Vargas et al. (2012) valoraron la composición nutricional de la harina de frijol caupí cultivado en nuestro país, e identificaron diversos grupos de metabolitos secundarios como taninos, polifenoles, saponinas, flavonoides, fenilpropanoides, alcaloides y compuestos esteroidales. Estos últimos son compuestos de interés ya que intervienen en el aprovechamiento proteico por lo que son inhibidores de tripsina y algunas otras enzimas proteolíticas del organismo humano. Además resalta el potencial antioxidante que podría generar beneficios a la salud humana por parte de los fenoles y polifenoles, así como también el alto contenido de proteínas y carbohidratos.

La mayoría de las leguminosas posee factores antinutricionales, entre estos el frijol caupí. Entre los principales factores antinutricionales se encuentra los inhibidores de tripsina, taninos, ácido fítico y hemaglutinina (Oluwatosin 1999; Jarma 2014). Jarma (2014) reportó niveles de ácido fítico entre 9,63 a 12,26 mg/g en nueve cultivares de frijol caupí.

López (2012) resalta el alto contenido de proteína en las harinas obtenidas de caupí crudo y cocido así como el perfil de aminoácidos que tiene, con 57 partes de treonina y 37 de metionina + cistina por cada 100 de lisina. De estos análisis se concluye que la calidad de la proteína de la semilla así como de su harina representan un importante recurso y fuente de aminoácidos para la alimentación especialmente de los niños, debido a la presencia de uno o más aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas.

En la Tabla 3 se observa la composición proximal de la harina de frijol caupí y se resalta de esta su contenido de proteína  $20,3 \pm 0,16$  g y energía como fuente de nutrientes para una buena alimentación.

## **2.4 Proceso de freído**

El freído es una operación de transferencia de masa y calor, en la cual el producto es cocinado por medio del calor convectivo cedido del aceite-grasa caliente al alimento hacia la superficie (Vélez y Hernández 1999; Alvis et al. 2009). El mismo calor genera e imparte atributos de calidad deseables como lo son el sabor, color, textura, apariencia y olor a los productos alimentarios (Alvis et al. 2009; González et al. 2015). Estos cambios deseables dados a los alimentos son un efecto combinado de la formación de costra, pérdida de humedad, desnaturalización de las proteínas, ganancias de aceite-grasa, gelatinización del almidón, cambios texturales, generación de color, aumento de

volumen y considerables cambios micro-estructurales en el interior del alimento (Blumenthal 1991; Alvis y Vélez 2008; Alvis et. al 2009 y Mir-Bel et al. 2012).

La fritura es un proceso físico-químico complejo, en el cual el producto a freír se introduce crudo o cocido en el aceite caliente durante determinado tiempo. El tiempo de freído estará en función de la temperatura del aceite, naturaleza del producto, espesor, contenido de humedad y las características organolépticas de interés, entre otras (Vélez y Hernández 1999).

#### **2.4.1 Freído por inmersión**

El freído por inmersión o fritura profunda es aquella donde el alimento entra en total contacto con el aceite-grasa, puede ser considerado como una operación de deshidratación en la cual el fluido calefactor es el aceite-grasa y debido a la acción de las altas temperaturas que involucra el proceso el agua contenida en el alimento se evapora y se presenta una absorción de aceite generando la transferencia de masa. En base a las diferencias que se presentan durante el proceso de freído por inmersión, se reconocen cuatro etapas: calentamiento inicial, ebullición superficial, periodo de velocidad decreciente y punto final de burbuja (Singh 1995; Farkas et al. 1996a; Budžaki y Seruga 2005; Alvis et al. 2009).

El calentamiento inicial transcurre en cuestión de segundos, se caracteriza por el aumento de temperatura del alimento hasta el punto de ebullición del agua, donde la convección natural es el mecanismo de calentamiento dominante en el sistema, existiendo también conducción en las capas internas del producto y el calor sensible es el requerido para elevar la temperatura del alimento. Este calentamiento termina justo antes de llegar a la temperatura de ebullición del agua en la matriz alimenticia, por tanto

no hay evaporación superficial del agua. La etapa consecutiva es la ebullición superficial que inicia con la formación intensa de burbujas que evidencia la salida de agua en forma de vapor; la convección en este caso es forzada por la intensa turbulencia en el aceite debido a las burbujas, el coeficiente de transferencia de calor aumenta hasta un punto máximo. Se da la formación de una corteza superficial. El periodo de velocidad decreciente es el más largo, se caracteriza por la evaporación superficial y de calentamiento hasta alcanzar el punto de ebullición del centro del alimento. En esta etapa debido a que la temperatura del alimento es alta, se desarrollan los cambios bioquímicos de gelatinización del almidón y desnaturalización de las proteínas; la costra continúa formándose y empieza a representar una barrera adicional a los procesos de transferencia de masa y calor. Finalmente se da la etapa del punto de burbuja, notable en los periodos prolongados de freído, se caracteriza por la disminución y cese del burbujeo y formación definitiva de la costra. No todos los alimentos llegan a esta etapa ya que suele desarrollarse una textura muy dura, una sobrecocción y absorción excesiva de aceite que tornan los alimentos indeseables al paladar del consumidor (Farkas et al. 1996a; Vélez y Hernández 1999).

En el proceso de freído por inmersión se involucran gran cantidad de variables como los pretratamientos aplicados al alimento, dentro de los que caben el escaldado, recubrimiento con películas, procesos de freído previos, entre otros; el tipo de alimento, la calidad, tipo y composición del aceite, temperatura del freído, duración del proceso, la humedad, forma y porosidad del producto, entre otras (Velez y Hernández 1999). Sin embargo Mittelman et al. (1984) determinaron que la temperatura del baño de aceite y tiempo de residencia son las principales variables de operación de fritura que controlan

la transferencia de masa; y Reddy y Das (1993) las transformaciones y reacciones en el producto.

#### **2.4.2 Evaporación de agua y absorción grasa aceite**

Durante el proceso de freído por inmersión, como se ha descrito por Singh (1995), Farkas et al. (1996 a); Budžaki y Seruga (2005) y Alvis et al. (2009) ocurren dos procesos simultáneos que son la evaporación de agua por el aumento medio de la temperatura del alimento debido a la transferencia de calor por parte del aceite. El contenido de aceite-grasa en los alimentos fritos determina en gran medida la decisión del consumidor de aceptar o rechazar los productos; las nuevas tendencias del mercado están llevando a que el sector de los productos fritos busque mejores y más saludables alternativas para la fabricación de los mismos, si bien es cierto es que el mercado de los productos fritos es uno de los de mayor demanda en el campo de los alimentos.

La absorción de aceite en los alimentos cocinados por medio del proceso de freído se concentra principalmente en el área cerca de la superficie que está en contacto con el aceite, durante el freído por inmersión los alimentos pierden agua en forma de vapor con la consecuente formación de la costra, la cual posee numerosas cavidades, poros y gran superficie, el aceite-grasa pasa a llenar los espacios vacíos, producto de la pérdida de agua (Varela et al. 1988). Se asume que la transferencia del aceite-grasa al alimento se produce en dos periodos, primero el periodo de absorción donde el aceite-grasa se difunde de los alrededores hacia el producto y segundo el periodo de desorción donde la grasa migra del producto hacia los alrededores por flujo capilar (Ateba y Mittal 1994), sin embargo en el periodo de enfriamiento también se han observado fenómenos de absorción de aceite (Moreira et al. 1997; Alvis et al. 2010).



En la absorción de aceite y la evaporación del agua influyen muchos factores, González et al. (2015) indicaron que la temperatura es un efecto altamente significativo, en donde a menores temperaturas de freído muestras de batata tuvieron valores mayores en el contenido de aceite y humedad y viceversa, resultados similares reportan Durán et al. (2007), Marcano et al. (2010) y Alvis et al. (2010).

La absorción de aceite en los productos fritos a su vez se encuentra directamente relacionada con el contenido de humedad que el alimento posea al inicio del proceso de fritura, teniéndose que un mayor contenido de agua genera una mayor porosidad (Kassama y Ngadi 2005) y por ende una mayor captación de aceite-grasa en el producto terminado (Moreira et al. 1997; Alvis et al. 2010). Estos poros en la etapa final del freído, cuando se ralentiza la pérdida de humedad y cesa la formación de burbujas, el aceite empieza penetrar por los poros ya formados, ya que el aceite se adhiere a la superficie mientras las presiones internas mayores impiden la penetración en la estructura del producto (Durán et al. 2007). Seguido del enfriamiento del producto ya fuera del aceite, donde ocurre un fenómeno complejo de absorción de aceite tal como afirman Durán et al. (2007), Moreira et al. (2009) y Alvis et al. (2010), esto se debe a que se desarrolla extremadamente rápido un gradiente positivo de presión que produce un efecto de vacío que genera la fuerza que succiona el aceite dentro de los poros (Durán et al. 2007). Otras variables que también pueden afectar la absorción de aceite son las características fisicoquímicas del producto como la composición, la forma, la relación área superficial (Rimac-Brnčić et al. 2004).

### 2.4.3 Modelado del proceso de freído por inmersión para el cálculo de coeficiente de difusividad del agua

Para el cálculo del coeficiente de difusividad del agua en la matriz alimenticia se utiliza la ecuación de concentración (del agua en el alimento) en función del tiempo y la posición, los cuales se ajustan al modelo exponencial de primer orden propuesto por Krokida et al. (2000); Math et al. (2004) y Alvis et al. (2010) para una lámina infinita como se demuestra en la ecuación (1).

$$M_t = A e^{-kt} \quad (1)$$

Dónde:  $M_t$ = contenido de humedad al tiempo  $t$  (Kg H<sub>2</sub>O/Kg sólidos);  $t$ = tiempo (min);  
 $A$ = constante (Kg H<sub>2</sub>O/Kg sólidos);  $k$ = constante tiempo (1/s).

Al existir un gradiente de concentración de humedad a lo largo de la dirección de difusión se considerará el cumplimiento de la segunda ley de Fick de la difusión en una dimensión a lo largo del eje ( $z$ ) y un coeficiente de difusión constante (Math et al. 2004; Alvis et al. 2010). El cambio en la concentración de humedad se puede representar por la ecuación (2).

$$J_a = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \quad (2)$$

La solución de la ecuación de difusión (2) puede ser usada para predecir la concentración en cualquier instante a lo largo de la fritura para figuras definidas (Alvis et al. 2010), donde se relaciona la coeficiente de difusividad ( $D_{AB}$ ) y las concentraciones del alimento y el medio ( $C_A$  y  $C_Z$ , respectivamente) en cada tiempo mediante derivadas parciales. Asumiendo una placa y la difusión en estado inestable se obtiene la ecuación (3).

$$\frac{M_t - M_\infty}{M_i - M_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \left[ e^{\left(\frac{-\pi^2 D_{at}}{4L^2}\right)} + \frac{1}{9} e^{\left(\frac{-9\pi^2 D_{at}}{4L^2}\right)} + \frac{1}{259} e^{\left(\frac{-25\pi^2 D_{at}}{4L^2}\right)} + \dots \right] \quad (3)$$

Despreciando los términos de orden superior en la ecuación anterior, y asumiendo  $M_\infty = 0$ , se tiene la ecuación (4).

$$\frac{M_t}{M_i} = \frac{8}{\pi^2} e^{\left(\frac{-\pi^2 D_{at}}{4L^2}\right)} \quad (4)$$

Linealizando la ecuación (4) y reorganizando los términos

$$-\ln \left( \frac{\pi^2 M_t}{8 M_i} \right) = \frac{\pi^2 D_{at}}{4L^2} \quad (5)$$

Dónde:  $M_t$ = contenido de humedad al tiempo t, (Kg H<sub>2</sub>O/Kg sólidos);  $M_o$ = contenido de humedad inicial (Kg H<sub>2</sub>O/Kg sólidos); t= tiempo (min); L= espesor (m); Da= coeficiente de difusión m<sup>2</sup>/s. Para la determinación del coeficiente de difusión (Da) se utilizará la ecuación (5) ya que será la pendiente al realizar la gráfica de  $-\ln \left( \frac{\pi^2 M_t}{8 M_i} \right)$  vs el tiempo.

## 2.5 Propiedades texturales

La textura puede ser definida como la manifestación sensorial de la estructura de los alimentos y la manera en que esta estructura reacciona a las fuerzas aplicadas, representa la unión de todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, detectados a través del tacto, masticación, aspecto visual y los receptores de la audición (Szczesniak 1963a). Por otra parte, la textura puede estar relacionada con la deformación, la desintegración y el flujo de la comida cuando se aplica una fuerza (Bourne 2002).

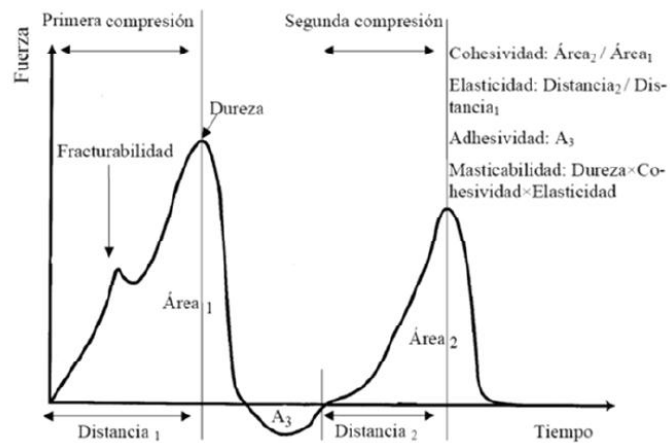
La textura puede medirse por medios objetivos como el análisis instrumental y subjetivo mediante pruebas sensoriales. Para llevar a cabo las pruebas instrumentales se emplea comúnmente equipos denominados texturómetros que imitan las condiciones de la masticación y presentan excelentes correlaciones con las evaluaciones sensoriales de textura (Szczesniak 1963b). Por esta razón, han sido ampliamente utilizados para medir la textura de diferentes tipos de alimentos, percibiendo atributos mecánicos como la reacción a la fuerza aplicada, atributos geométricos relativos a la forma, tamaño y orientación de las partículas dentro de la comida y atributos relativos a la percepción de humedad o grasa contenido (Szczesniak 2002). En consecuencia la textura es un atributo clave de calidad utilizado en la industria de alimentos frescos y procesados para evaluar la calidad del producto y aceptabilidad (Chen y Linus 2013).

El análisis del perfil de textura (TPA) establece un "puente" de medición objetiva a la sensación subjetiva y hace las características de textura los alimentos más predecible (Chen y Linus 2013) imitando el proceso de masticación (Hleap y Velasco 2010).

La prueba TPA por compresión se basa en la imitación de la masticación o el proceso de mascar con un ciclo de compresión doble. De los ciclos de compresión resultan perfiles desde los que se puede evaluar una amplia gama de propiedades texturales de alimentos frescos y procesados, tales como la dureza, elasticidad, cohesividad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad (Chen y Linus 2013). Los parámetros de la prueba se pueden calcular a partir de la fuerza de compresión en función del tiempo (o distancia) generalmente utilizando un programa como el 'Textura Exponente Lite' desarrollado y suministrado por el fabricante (Farahnaky et al. 2012). En la Figura 2 se puede observar la curva de un análisis de perfil de textura.

Hleap y Velasco (2010) y Chen y Linus (2013) definen los parámetros del análisis de perfil de textura de la siguiente manera:

- **Fracturabilidad:** es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión, es el producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad. Se refiere a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o revienta, se expresa en unidades de fuerza (Newtons).
- **Dureza:** fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Representa la fuerza máxima requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar. Se expresa en unidades de fuerza (Newtons).
- **Cohesividad:** cociente entre el área positiva bajo la curva de fuerza de la segunda compresión, comprendida por el área 2 marcada en la Figura 2, y el área bajo la curva de la primera compresión, marcada como el área 1. Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse, no posee dimensiones al ser un cociente.



**Figura 2.** Gráfica general del análisis del perfil de textura por compresión.

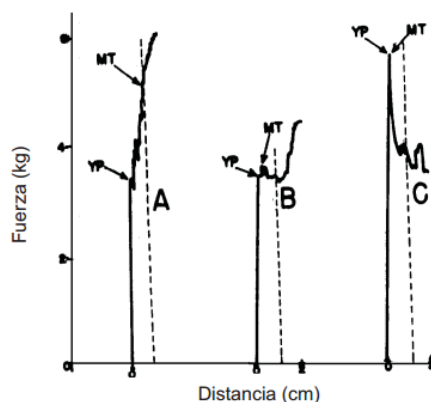
**Fuente:** Hleap y Velasco (2010).

- Adhesividad: siguiendo al primer ciclo de compresión se elimina la fuerza cuando la cruceta se mueve a su posición original. Representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie o bien del paladar. Se mide en unidades de fuerza (Newtons). Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa, marcada como el área 3 en la Figura 2, se toma como una medida de la adhesividad de la muestra.
- Elasticidad: es la capacidad de la muestra para recuperar la altura del alimento entre la primera y segunda compresión. Mide cuanta estructura original del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional ya que es el cociente entre dos longitudes,  $D2/D1$ .
- Gomosidad: es el producto de la dureza por la cohesividad, se representa en unidades de fuerza (Newtons) y es la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado estacionario de modo que esté listo para tragarse.
- Masticabilidad: representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido en un estado estacionario. Se expresa en unidades de masa (Kg) y es el resultado del producto de la dureza por la cohesividad y la elasticidad.

En análisis de perfil de textura por punción es un método simple y ampliamente usado para medir la firmeza de alimentos sólidos, se basa en la medida de la fuerza máxima requerida para empujar una aguja o punzón dentro del alimento en un intervalo de tiempo y a una profundidad dada y cuantificar la resistencia que opone un alimento al

paso de la aguja que se toma como una medida de firmeza. En este tipo de prueba, se pueden obtener tres tipos básicos de curvas tal como se muestra en la Figura 3 (De Lourdes y González 2009). Se expresa en unidades de masa respecto al recorrido hecho por la aguja o en Newtons.

La fuerza inicial aplicada aumenta en un pequeño desplazamiento conforme la punta presiona el alimento, esto se debe a la resistencia inicial que opone la superficie del alimento, en este momento aún no hay penetración. Luego de esta etapa la fuerza que aplica el instrumento de medida es mayor al que el tejido del alimento puede resistir y cede, penetrando la aguja en la matriz alimenticia, este evento se representa por un cambio repentino en la pendiente llamado punto de influencia (De Lourdes y González 2009).



**Figura 3.** Gráfica general para el análisis del perfil de textura por punción.

**Fuente:** De Lourdes y González, 2009.

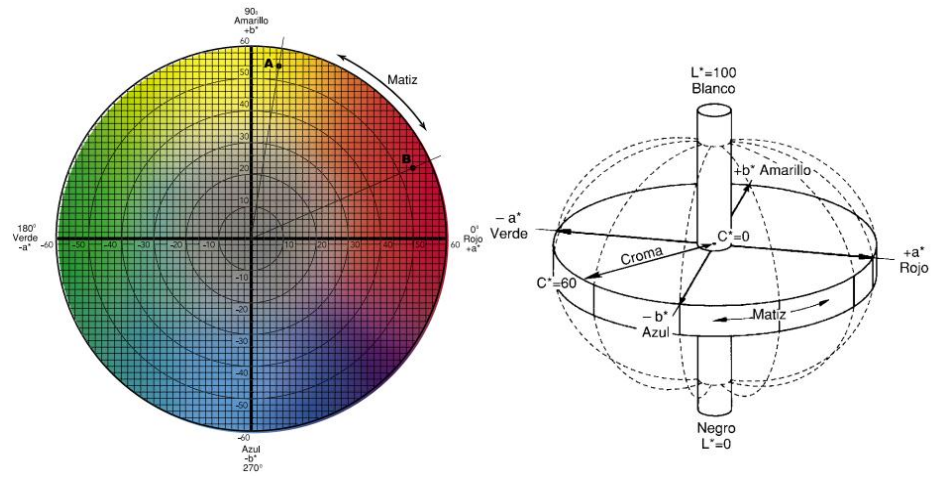
## 2.6 Color

Antes de tomar la decisión de consumir un alimento uno de los parámetros organolépticos que tiene mayor influencia es el aspecto visual y especialmente el color, pudiendo rechazarlo por considerarlo no apto para el consumo o aceptarlo. La

transferencia de calor y masa que toman lugar durante el freído causan cambios fisicoquímicos, que afectan el color de los productos freídos. Variables de proceso como la temperatura del aceite, el tipo de aceite y tiempo de freído afectan el color de los productos fritos (Alvis y Vélez 2008). Los cambios del color en el freído por inmersión pueden deberse al aumento de temperatura por reacciones de caramelización y la interacción de proteínas y carbohidratos lo que se conoce como “reacción de Maillard” (Perusko et al. 2015), así como también puede ser causa de la caramelización de los azúcares.

Para realizar las mediciones del color se emplea comúnmente un colorímetro que es un dispositivo triestimular (tres filtros) que usan filtros rojo, verde y azul para emular la respuesta del ojo humano al color y la luz (X-Rite 2002), empleando una escala denominada CIE (Commission Internationale de l'Eclairage o Comisión Internacional de la Iluminación). Los sistemas CIE usan tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. Estos espacios de color incluyen CIE XYZ, CIE  $L^*a^*b^*$  y CIE  $L^*C^*h^\circ$  (X-Rite 2002). Cuando un color se expresa en CIELAB, la  $L^*$  define la luminosidad,  $a^*$  denota el valor rojo/verde y  $b^*$  el valor amarillo/azul. Tal como muestra la Figura 4 el eje  $a^*$  corre de izquierda a derecha, una medición de color en la dirección  $+a^*$  muestra un desplazamiento hacia el rojo y  $-a^*$  hacia el verde. En el eje  $b^*$  un movimiento hacia  $+b^*$  representa un cambio hacia el amarillo y  $-b^*$  hacia el azul. El centro del eje  $L^*$  muestra  $L=0$  representa al negro o absorción total en el fondo,  $L=100$  representa al blanco o reflexión total y en el centro de este plano es neutral o gris (X-Rite 2002).





**Figura 4.** Representación de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en la escala CIELAB.

**Fuente:** X-Rite (2002).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La investigación para el estudio propuesto es de tipo experimental.

#### **3.2 Universo y localización del proyecto**

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Farinología y de Nutrición Animal del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), sede Tibaitatá en Cundinamarca y sede Turipaná en Córdoba respectivamente, Laboratorio de Análisis de Alimentos y Planta Piloto de la Universidad de Córdoba sede Berástegui, corregimiento del municipio Ciénaga de Oro en el departamento de Córdoba (Colombia), ubicado a 25 Km de la ciudad de Montería a 20 metros sobre el nivel del mar, 8° 53' de latitud norte y 75° 53' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich con una temperatura y humedad relativa promedio de 33 °C y 80%.

La harina se obtuvo en el laboratorio de Farinología del ICA en Tibaitatá (Cundinamarca) y la determinación de las propiedades nutricionales del grano entero, harina, la capacidad de absorción de aceite, la velocidad de evaporación de agua, medición de color y propiedades texturales de los buñuelos se llevó a cabo en el

Laboratorio de Análisis de Alimentos, los tiempos y temperaturas de fritura en la Planta Piloto en la Universidad de Córdoba, sede Berastegui, Córdoba (Colombia).

### **3.3 Variables e indicadores**

#### **3.3.1 Variables independientes**

Formulación de los buñuelos (empleando agua o leche)

Temperatura de fritura 150, 160 y 170 °C

Tiempo de freído (7.5 minutos)

#### **3.3.2 Variables dependientes**

Velocidad de evaporación de agua y absorción de aceite

Propiedades texturales de los buñuelos

Color de los buñuelos

Evaluación sensorial

### **3.4 Grano entero y acondicionamiento**

Para el desarrollo experimental se usaron 7 Kg de frijol caupí seco de una marca comercial, el cual fue adquirido en un supermercado de la ciudad de Montería, y fue desprovisto de impurezas manualmente.

### **3.5 Obtención de la harina**

El grano entero fue molido inicialmente en un molino de muestras Cemotec™ 1090 de discos con 7 aberturas de disco, empleando la mayor de la aberturas para obtener partículas gruesas. Un kilogramo de frijol molido, con fracciones de corteza, hilio y

cotiledón se reservó en una bolsa plástica aluminizada de 1 Kg para su posterior uso, el resto se hizo pasar por un soplador ‘South Dakota’, el cual por medio de una malla fina en el fondo dejó pasar los elementos más finamente triturados (principalmente corteza e hilio fraccionado) y por acción de un ventilador dejó en los deflectores cerca de la extremidad superior, principalmente las fracciones de hilio entero y granos pequeños del cotiledón que fueron descartadas. Luego las fracciones de cotiledón que quedaron en el compartimiento principal que no pasaron por el tamiz inferior ni subieron a los deflectores se hicieron pasar por un molino de muestras Cyclotec™ 1093 centrifugo con abertura de filtro de 1 mm. La harina sin ningún tratamiento fue empacada en bolsas plásticas aluminizadas de 1 Kg que impiden un intercambio de gases y paso del vapor de agua, estas fueron selladas hasta su posterior uso.

### **3.6 Caracterización de la harina de frijol caupí**

Se caracterizó bromatológicamente el grano entero y la harina, determinando los componentes principales. Contenido de humedad. (AOAC, 920.151, 2000), de proteínas (AOAC 960,52, 2001), cenizas (AOAC, 940.26, 2000), fibra cruda (ISO 6865-NTCC 5122), contenido de grasa mediante la extracción con éter de petróleo (AACC 30-10.01, 1986) y carbohidratos por diferencia, así:

$\% \text{Carbohidratos (base seca)} = 100 - \% \text{proteínas} - \% \text{cenizas} - \% \text{fibra cruda} - \% \text{extracto etéreo.}$

### **3.7 Elaboración de masas de frijol caupí y freído por inmersión de buñuelos**

Se prepararon 2 formulaciones a partir de la harina de frijol obtenida tal como se muestra en la Tabla 4. Se mezclaron los constituyentes y se batieron manualmente hasta obtener una pasta homogénea y se reservó en recipientes plásticos y se mantuvo en

refrigeración hasta su uso. El proceso de freído de cada una de las formulaciones se realizó con aceite de soya en una freidora eléctrica GMS de 5 litros a tres temperaturas: 150 (T1), 160 (T2) y 170 °C (T3) a diferentes intervalos de tiempo ( 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 450 y 480 segundos), transcurrido el tiempo de cada muestra se sacaron los buñuelos del aceite y se pusieron sobre papel absorbente hasta temperatura ambiente para remover el aceite superficial y así evitar la alteración de los resultados. Luego de cada freído se ajustó el nivel de aceite al inicial en caso de perderlo y entre ensayos se renovó.

**Tabla 4.** Formulaciones de las masas preparadas a partir de frijol caupí.

Formulación	% De constitución en la mezcla				
	Harina	Agua	Leche	Huevo	Sal
1	50	40	-	8	2
2	47,4	-	42,6	8	2

El contenido de humedad y de aceite fue determinado en las masas (punto inicial). Estas mismas variables fueron medidas en los buñuelos (intervalos de 30 segundos para la humedad y de 60 segundos para el contenido de aceite, hasta completar 7.5 minutos), permitiendo interpretar como evolucionan estas variables por medio de un gráfico representativo, siendo el tiempo cero la masa de la cual se parte y el tiempo final como el producto totalmente cocido por fritura.

### **3.7.1 Cálculo de coeficiente de difusividad**

Se determinó el valor del coeficiente de difusividad según la metodología reportada por Krokida et al. (2000), Math et al. (2004) y Alvis et al. (2010) para una lámina infinita como se muestra en las ecuaciones (1) y (5).

### **3.8 Análisis del perfil de textura de los buñuelos**

La prueba de TPA se realizó a los buñuelos completamente fritos al transcurrir 480 segundos con un texturometro TA.XT Plus mediante dos compresiones simulando la mordida humana con cubos de 2,5 cm, utilizando una placa circular de 75 mm de diámetro con base de varilla. Las condiciones del ensayo son 1 mm/s, velocidad pos-ensayo 10 mm/s, distancia de compresión 10 mm y celda de carga de 30 Kg. En el análisis de perfil de textura (TPA) se determinaron las características de dureza, cohesividad, adhesividad, gomosidad, elasticidad y masticabilidad. En el análisis de textura por punción se empleó el accesorio de punzon de 2 mm.

### **3.9 Evaluación del color de la harina y los buñuelos**

Se realizó la medición del color de la harina y de los buñuelos tanto la corteza como la miga luego de 2 horas transcurridos los 480 segundos de cada etapa de freído. Se empleó un colorímetro Colorflex EZ y la escala denominada CIE con las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

### **3.10 Evaluación sensorial**

Se realizó una evaluación sensorial con 60 catadores no entrenados (32 mujeres y 28 hombres) entre 17 y 28 años, los criterios para participar del ensayo fueron ser consumidor habitual de productos fritos, no ser alérgico a las materias primas usadas u

otro alimento y tener disponibilidad de tiempo. Se escogieron para el ensayo las muestras freídas a 150 °C para cada formulación por ser las de menor absorción de aceite; se empleó una escala hedónica mixta de 9 puntos para evaluar los atributos de color, olor, sabor, textura y aceptación general tal como también lo evaluó Patterson et al. (2002).

Las muestras se sirvieron en caliente (60 °C) en orden aleatorio codificadas con números de 3 cifras. A cada panelista se le entregó el formato de calificación con las muestras y un vaso con agua para limpiar el paladar entre muestra y muestra. El formato de evaluación se aprecia en el Anexo A.

### **3.11 Análisis estadístico**

Se empleó un diseño experimental con 3 repeticiones completamente aleatorizado de dos factores (formulación y temperatura de freído), los resultados de la combinación de los factores se analizó mediante análisis de varianza de clasificación doble y pruebas de rangos múltiples aplicando el test de Duncan al 5%, provistos por el paquete estadístico Minitab17<sup>®</sup>, versión prueba.. Los ensayos se realizaron como lo indica la Tabla 5. Para el análisis sensorial se empleará un análisis de varianza de un solo factor.

**Tabla 5.** Matriz de ordenamiento de ensayos con combinación de factores.

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
<b>Run</b>	A:Formula	B:Temperatura°C
<b>1</b>	Fórmula 1	170
<b>2</b>	Fórmula 2	160
<b>3</b>	Fórmula 2	150
<b>4</b>	Fórmula 2	170
<b>5</b>	Fórmula 2	150
<b>6</b>	Fórmula 2	150
<b>7</b>	Fórmula 1	170
<b>8</b>	Fórmula 2	170
<b>9</b>	Fórmula 1	150
<b>10</b>	Fórmula 1	170
<b>11</b>	Fórmula 1	150
<b>12</b>	Fórmula 1	160
<b>13</b>	Fórmula 1	150
<b>14</b>	Fórmula 2	160
<b>15</b>	Fórmula 1	160
<b>16</b>	Fórmula 1	160
<b>17</b>	Fórmula 2	160
<b>18</b>	Fórmula 2	170



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización del grano entero y harina

En la Tabla 6 se muestra la caracterización bromatológica del grano de frijol caupí y la harina obtenida.

**Tabla 6.** Caracterización bromatológica del grano de frijol caupí y la harina de frijol.

Nutriente	Grano entero (%)	Harina (%)
Humedad	12,72 ± 0,38	11,59 ± 0,43
Ceniza *	4,38 ± 0,22	3,30 ± 0,09
Grasa *	0,77 ± 0,02	1,11 ± 0,008
Fibra *	3,32 ± 0,15	2,02 ± 0,24
Carbohidratos *	67,36 ± 0,5	70,72 ± 0,34
Proteína *	22,85 ± 0,11	24,17 ± 0,01

\* Porcentajes en base seca

La humedad es mayor para el grano entero que para la harina obtenida de este, estos valores son importantes ya que representan un parámetro de calidad en harinas. Las altas humedades en granos y harinas representan un riesgo a la inocuidad de los mismos, ya que se hacen propensas a la contaminación por hongos y levaduras e infestaciones por insectos y roedores. Según La norma del CODEX 152 el contenido de humedad máximo

permitido en el grano entero es 15,5% m/m, comparando con los resultados se puede decir que está bajo la reglamentación. La Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (2005), reportó un valor de 11,2% para judía carilla (*Vigna unguiculata*), similar al reportado en esta investigación.

Los porcentajes de ceniza resultaron mayores para el grano entero con respecto a la harina, esta diferencia se debe a que la corteza y el hilio en el grano entero poseen minerales importantes que se retiraron al momento de elaborar la harina. Díaz et al. (2002a y 2002b) reportan resultados similares a los obtenidos para el grano entero en la mayoría de las variedades estudiadas, excepto para la variedad Cubanita 666; León et al. (1992) y Macêdo et al. (2008) encontraron valores inferiores de ceniza para granos de frijol caupí. Abu et al. (2005) encontraron resultados similares para harinas de frijol caupí, en cambio López (2012) encontró porcentajes superiores a los obtenidos en la investigación, la Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (2005), reporta un valor de 3,9% para judía carilla, inferior al reportado en esta investigación.

Los mayores niveles de grasa se obtuvieron para la harina, esto se debe a que la grasa se concentra en los cotiledones y en el caso del grano entero se incluyen en la cuantificación, la fracción de corteza e hilio, las cuales no son ricas en este componente. En cuanto al grano entero León et al. (1992), Díaz et al. (2002 a y 2002 b), Singh et al. (2006) y Macêdo et al. (2008) reportan resultados un poco superiores a los obtenidos. López (2012) y Abu et al. (2005) reportan resultados similares a los obtenidos para grasa en harinas de frijol caupí, la Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (2005), reporta un valor de 1,4% para judía carilla, superior al reportado en esta investigación.

El porcentaje de fibra de la harina fue menor para el grano entero, esto se debe a que la corteza e hilio contienen celulosa, hemicelulosa y lignina (León et al. 1992; Díaz et al. 2002 a y 2002 b y Singh et al. 2006). La Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (2005) reporta un valor de 1,8% para judía carilla valor inferior al obtenido para el grano de frijol caupí en la presente investigación; López (2012) también reporta valores superiores para harinas de frijol caupí.

Adebooye y Singh (2008) reportaron valores de carbohidratos para grano entero de 44,1% y para harinas de semillas decorticadas de 61,6%. En ambos casos los valores obtenidos superan a los anteriormente reportados. Este autor resalta la capacidad de ambas harinas para retener agua, las cuales oscilaron entre 70 y 170%, lo que lo hace atractivo como un posible sustituto de harinas en procesos de elaboración de productos. La Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (2005), reporta un valor de 41,7% valor inferior al obtenido para el grano de frijol caupí en la presente investigación.

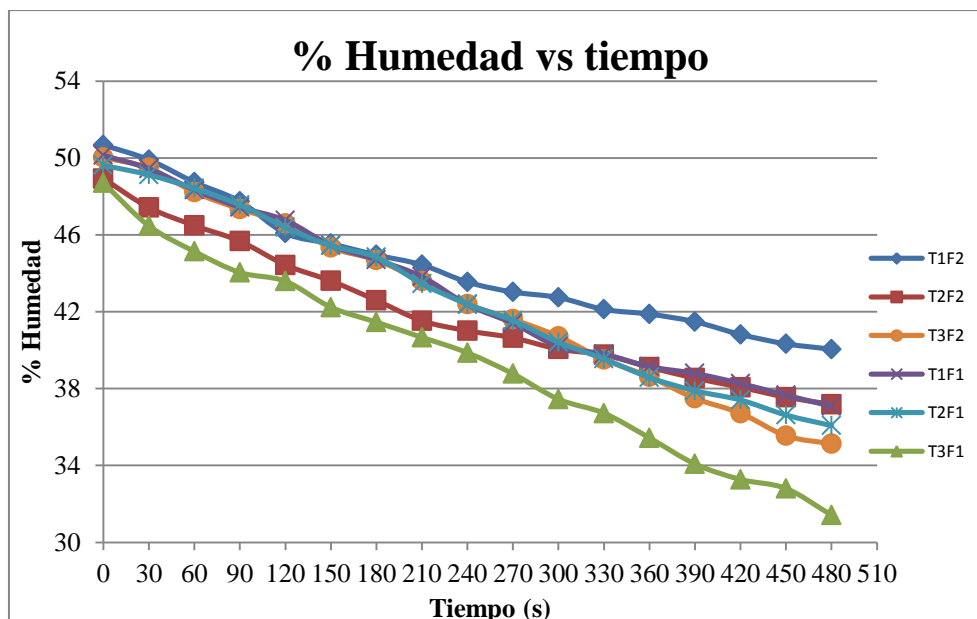
La proteína para el grano entero y la harina se encuentra en los valores cercanos reportados por León et al. (1992), Díaz et al. (2002 a y b), Abu et al. (2005), Singh et al. (2006), Macêdo et al. (2008), Vargas et al. (2012) y López (2012). La Tabla de Composición de Alimentos Colombianos (2005), reporta un valor de 23,5% para judía carilla, valor cercano al obtenido para el grano de frijol caupí en la presente investigación.

## **4.2 Freído por inmersión de buñuelos de frijol caupí**

### **4.2.1 Pérdida de humedad y absorción de aceite durante el freído**

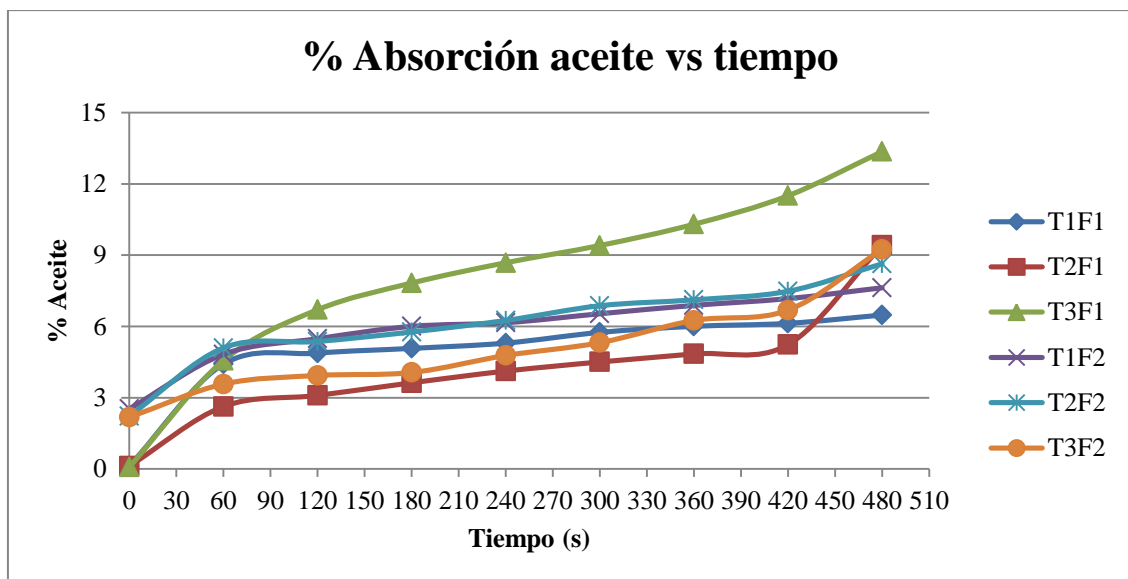
En el análisis de resultados del porcentaje de humedad y de aceite en los buñuelos de frijol indican que las variables independientes (temperatura del aceite y formulación), así como también la interacción temperatura-formulación, tienen efectos significativos en el porcentaje de humedad y de absorción de aceite (Anexo B), tal como se muestra en las Gráficas 1 y 2.

Mediante el test de Duncan se encontraron diferencias significativas al 5% de significancia para el contenido de humedad en la mayoría de los tratamientos (Anexo B, Cuadro 1), siendo insignificante al comparar las medias correspondientes a F1T1 y F2T2. Las muestras de la formulación 1 presentaron menores humedades que las muestras de la formulación 2 bajo las mismas condiciones de temperatura. Respecto a la temperatura, la relación que se observó entre esta variable independiente y el contenido de humedad fue inversa, ya que a medida que aumentaba la temperatura la humedad final era menor, de esta manera las mayores humedades se obtuvieron al freír las muestras a 150 °C y las menores humedades corresponden a las muestras fritas a 170 °C.



**Gráfica 1.** Evolución del contenido de humedad durante el freído.

Respecto a la absorción de aceite, mediante la prueba de Duncan (Anexo B, Cuadro 2) se encontró diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos al 5% de significancia siendo iguales estadísticamente los tratamientos correspondientes a F1T2, F2T2 y F2T3. Los mayores valores de contenido de aceite se obtuvieron para las muestras correspondientes a la formulación 1 en comparación con la formulación 2 a las mismas temperaturas, excepto para 150 °C donde el contenido de aceite es ligeramente menor para la formulación 1 respecto a la formulación 2. De la misma forma se obtuvo que la mayor absorción de aceite corresponde a las mayores temperaturas de freído, de esta manera, las muestras sometidas a 170 °C absorbieron más aceite que las fritas a 160 °C, y estas a su vez que las de 150 °C.



**Gráfica 2.** Evolución de la absorción de aceite durante el freído.

Los resultados indican que a mayor temperatura se alcanzan menores contenidos de humedad final y se absorbe mayor cantidad de aceite para una misma formulación, esto se debe a la naturaleza de su formulación, comportamientos similares de la relación de absorción de aceite vs tiempo se observaron resultados similares en akaras fritas, nuggets de pollo y batata reportan Patterson et al. (2002), Mbofung et al. (2002), Debnath et al. (2003), Yıldız et al. (2007), Nasiri et al. (2011), Mir-Bel et al. (2012), Teruel et al. (2014) y Alvis et al. (2015) bien sea para ambas variables de respuesta o solo una de ellas.

La incidencia de la temperatura en los resultados se debe a que a mayor temperatura del medio aumenta la velocidad de evaporación del agua (Olivier et al. 2002; Teruel et al. 2014; Alvis et al. 2015), conforme la temperatura al interior de alimento va aumentando y llega al punto de ebullición del agua, esta se evapora y sale del alimento en forma de vapor. Mir-Bel et al. (2012) observaron que a medida que aumenta la temperatura del

aceite, el contenido de humedad de la muestra para el mismo período de freído disminuye. Olivier et al. (2002), Nasiri et al. (2011) y Alvis et al. (2015) reportaron que a menor temperatura el porcentaje de grasa absorbida es mayor.

Patterson et al. (2002) reportaron contenidos de humedad y grasa que variaron entre 47,2-49,6% y 30,4-32,1%, respectivamente, para akaras fritas a 193 °C durante 2 minutos, los cuales son superiores a los obtenidos en la investigación. Se destaca que en sus resultados se muestra que el contenido de humedad y el de grasa tienen una relación inversa, en donde los mayores valores de humedad coinciden con los menores de grasa, estos resultados son consistentes con los obtenidos por Shih et al. (2001), Olivier et al. (2002), Kassama y Ngadi (2005), Tan y Mittal (2006), Plahar et al. (2006), Nasiri et al. (2011) y Melito y Farkas (2013). Este comportamiento se puede explicar ya que a medida que se va evaporando el agua dentro del alimento se van generando espacios vacíos (Plahar et al. 2006; Nyun et al. 2011; Melito y Farkas 2013), los cuales son ocupados por el aceite, de esta manera, a mayor agua perdida durante el proceso de freído, mayor cantidad de aceite será absorbido. También se destacan que el contenido de humedad inicial influye en la absorción de aceite, siendo mayor la absorción de aceite para contenidos iniciales de humedad altos, como también lo reportan Gamble et al. (1987), Reddy y Das (1993) y Debnath et al. (2003). Esto se debe a que entre menor sea la humedad, menos poros que permitan la entrada del aceite serán generados.

En el análisis de humedad de la Gráfica 1, se nota inicialmente como se pierde agua a un ritmo mayor y paulatinamente se va haciendo más lento o bien a una tasa casi constante, sin llegar a formar una asíntota con el tiempo. Mbofung et al. (2002) describen la tasa de pérdida de agua en dos fases: una primera que dura entre uno y dos minutos en la cual la

pérdida es muy rápida, evaporando alrededor del 50% de la humedad perdida mientras freía pastas de frijol caupí, la cual es seguida por una segunda fase en la que la tasa de pérdida es mucho más lenta. Teruel et al. (2014) reportan resultados similares, en donde la mayor tasa de evaporación tiene lugar en los dos primeros minutos. La aparición de estas fases puede estar asociada con la formación de la corteza durante la fritura ya que puede representar una resistencia a la difusión del agua tal como lo reporta Singh (1995). Budžaki y Šeruga (2005); Bouchon y Pyle (2005) y Teruel et al. (2014) aseguran que la velocidad de evaporación es mayor antes de la formación de la corteza. Olivier et al. (2002) reportan un comportamiento similar debido a la resistencia interna que genera el engrosamiento de la corteza seca la cual posee baja conductividad térmica, resultados similares reportan Ziaiifar et al. (2009) y Plahar et al. (2006), quienes resaltan que la corteza y las áreas cercanas a esta son en donde mayor evaporación de agua se da y por ende mayor absorción de aceite se presenta.

En cuanto a las formulaciones se notó que para la formulación 2 la absorción de aceite de los buñuelos fue menor que para la formulación 1 a una misma temperatura, excepto para F1T1, esta diferencia puede deberse a los contenidos de aceite en las masas del frijol antes de ser sometidas al freído, tal como se observa en el Anexo C en donde se aprecia que el contenido de extracto etéreo para F1 y F2 es de 2.83% y 3.28%, respectivamente. En el caso de la formulación 1, el extracto etéreo es proveniente de la harina y el agregado de huevo, en cambio para la formulación 2 aparte de las dos fuentes mencionadas se suma la leche (Tabla 4). A diferencia del agua, la materia grasa ocupa espacios que no quedan libres al someterse al proceso de freído, esto puede explicar el comportamiento obtenido. Debnath et al. (2003) suponen que el aumento de sólidos en una matriz alimenticia puede influir en la disminución de la absorción de aceite. En el



Anexo C se evidencia que el contenido de sólidos es mayor para las masas de la formulación 2 que para la formulación 1, aumento que puede estar relacionado con la adición de leche.

La formulación también tiene incidencia en la humedad final de los buñuelos, la pérdida de humedad de la formulación 1 es mayor que la formulación 2. Nasiri et al. (2011) encontraron que las formulaciones con mayor contenido de proteínas retienen más humedad ya que poseen la capacidad de ligar agua. En este estudio, en el Anexo C son apreciables valores de 25.72% y 23.87% de proteína para F2 y F1, respectivamente para las masas. De esta manera se explica este comportamiento debido a que la formulación 2 posee proteína adicional proveniente de la leche.

Los productos fritos al salir del aceite se someten a un proceso de enfriamiento que también incide en la absorción de aceite, algunos autores lo consideran como la etapa de mayor absorción de aceite (Teruel et al. 2014 y Alvis et al. 2015), ya que durante el proceso aumenta la presión interna debido al cambio de estado del agua, al salir el producto del aceite la presión disminuye y el aceite que se encuentra en la superficie es aspirado. Bouchon y Pyle (2005) encontraron que durante el enfriamiento inciden el espesor de la corteza, el radio de poro y la temperatura ambiente.

El tiempo también es un factor que incide en la absorción de aceite, Melito y Farkas (2013) reportaron que las muestras freídas en un menor periodo de tiempo absorbieron menor cantidad de aceite y perdieron menos humedad, como también lo reportan Olivier et al. (2002), Vélez y Sosa (2003), Sosa et al. (2006) y Nasiri et al. (2011). Mir-Bel et al. (2012) encontraron que el tamaño y la forma del producto, también afecta de manera significativa el contenido de humedad durante la fritura, en

donde el contenido de humedad de los productos es menor para las proporciones más altas de área/volumen para el mismo tiempo de fritura.

Plahar et al. (2006), Teruel et al. (2014) y Alvis et al. (2015) aseguran que la absorción de aceite es un mecanismo complejo, que aún no se logra predecir ni modelar y resaltan que hay muchos factores adicionales que inciden a los descritos anteriormente como lo es la estructura inicial del producto, los diversos intercambios entre el producto y el medio de calentamiento, la variación del producto, propiedades del aceite, las reacciones químicas, el tiempo de drenaje, la presión de trabajo, la permeabilidad de la corteza, capacidad de formación de espuma, entre otros.

#### **4.2.2 Cálculo del coeficiente de difusividad**

En el análisis de varianza se observó que la temperatura y la formulación, así como la interacción temperatura-formulación, resultaron significativos (Anexo B, Cuadro 3) en la determinación del coeficiente de difusividad de agua. Según el test de medias de Duncan (Anexo B, Cuadro 3) existen diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos, excepto en los tratamientos sometidos a 160 y 170 °C de la formulación 1, como se muestra en la Tabla 7. Los valores promedios del coeficiente de difusividad del agua, muestran una tendencia al incremento a medida que aumenta la temperatura, así mismo, para una misma temperatura los valores de difusividad son mayores para la formulación 1 que para la formulación 2.

A medida que aumenta la temperatura en el proceso de freído el coeficiente de difusividad se incrementa, de esta manera, los mayores valores de difusividad se obtuvieron para las muestras freídas a 170 °C y los menores para las muestras a 150 °C,

resultados similares obtuvieron Yıldız et al. (2007), Adedeji et al. (2009), Alvis et al. (2009) y Nasiri et al. (2011).

**Tabla 7.** Coeficientes de difusividad (Da) para los diferentes tratamientos.

<b>Tratamiento</b>	<b>Da <math>\pm</math> SD</b> <b><math>\times 10^{-6}</math> (m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>T1.F1</b>	4,77 $\pm$ 0,49 <sup>c</sup>
<b>T2.F1</b>	6,36 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>
<b>T3.F1</b>	6,49 $\pm$ 0,83 <sup>a</sup>
<b>T1.F2</b>	3,64 $\pm$ 0,53 <sup>e</sup>
<b>T2.F2</b>	4,33 $\pm$ 0,86 <sup>d</sup>
<b>T3.F2</b>	5,67 $\pm$ 0,99 <sup>b</sup>

\*Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa entre tratamientos mediante el test de Duncan.

Nasiri et al. (2011) reportan que la presencia de proteínas en una matriz alimenticia favorece la retención de humedad, esto se traduce en una menor cantidad de agua disponible para la evaporación ya que esta se resiste a al cambio de estado por esta interacción. Esto podría explicar las menores difusividades de la formulación 2 respecto a la otra formulación, ya que posee un agregado de proteínas adicional proveniente de la leche (Anexo C).

Los resultados obtenidos son mayores a los reportados por Sosa et al. (2006), Yıldız et al. (2007), Alvis et al. (2009), Adedeji et al. (2009), Alvis et al. (2010), Nasiri et al. (2011), Morales y Vélez (2011) y Alvis et al. (2015). Esto se debe a las diferencias entre

las matrices alimenticias, las temperaturas empleadas, los métodos de cálculo empleados, tiempo de residencia, entre otras variables.

### **4.3 Evaluación del color**

Los valores obtenidos de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para corteza mostraron diferencias significativas entre las distintas formulaciones como se indica en la Tabla 8, donde la temperatura, la formulación y la interacción formulación-temperatura resultaron significativas (Anexo B, Cuadros 4, 5 y 6).

Se encontró que estos resultados muestran que las modificaciones en el color de la corteza aumentaron significativamente en los buñuelos de las formulaciones, especialmente la 2, que podría deberse a la cantidad azúcares presentes en dichas formulaciones y todas las reacciones que se desencadenan de estas; respecto a la temperatura, el parámetro  $L^*$  se hace menor, es decir, más oscuro, probablemente por el mayor flujo de calor que experimentaba durante el freído, un flujo de calor superior debería incrementar la temperatura de la superficie, aumentando la cantidad de productos de Maillard y caramelización y la producción de una corteza más oscura, Melito y Farkas (2013) reportaron una misma tendencia en investigaciones realizadas en donas. El matiz amarillo-azul, osciló entre 13,98 y 32,97 mostrando la inclinación hacia el color amarillo en su eje positivo y el parámetro  $a^*$  se mostró entre un rango de 12,12 a 30,15 en su eje positivo inclinándose más al color rojo. Mediante la observación se confirmó un color más dorado para la formulación 1 que la 2.

Los valores obtenidos de la humedad de las formulaciones son otro factor claro para este análisis de color ya que Özkan et al. (2003) encontraron una correlación positiva entre la luz y la humedad en los alimentos, lo que implica que el contenido de agua inferior

conduce a la disminución de brillo. En este caso la formulación 1 muestra menor contenido de humedad a una misma temperatura, en comparación con la formulación 2 el brillo es mayor; esta diferencia podría verse marcada por un mayor contenido de azúcares presentes en la formulación 2. Prinyawiwatkul et al. (1996) encontraron que esto se debe a la producción de pigmentos oscuros y descomposición de los carbohidratos que facilitan la reacción de Maillard. Para una misma formulación si se evidencia el efecto de la correlación antes mencionada ya que a medida que aumentaban las temperaturas de freído, disminuía la humedad y con esta, el brillo de la corteza del producto.

Mediante el análisis de varianza se encontró diferencia significativa entre las muestras de miga, como muestra la Tabla 8, donde resultaron significativas las variables temperatura del aceite, formulación y la interacción temperatura-formulación, para todas las variables ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), sin embargo se evidencian resultados muy cercanos entre la formulación 1 y 2 (Anexo B, Cuadros 7, 8 y 9).

El matiz amarillo-azul, osciló entre 20,05 y 26,47 mostrando la inclinación hacia el color amarillo y el parámetro  $a^*$  se mostró entre un rango de 2,16 a 3,18 en su eje positivo, el cual se inclina ligeramente al rojo. La observación visual confirmó un color muy parecido en todos los tratamientos. Por lo antes mencionado en el análisis de miga se afirma que debido a la poca interacción de la superficie de la miga con el aceite a alta temperatura, no se da un cambio de color significativo, ya que la corteza se ubica entre estos dos, impidiendo el paso de calor directamente.

**Tabla 8.** Parámetros colorimétricos para la harina de frijol y los diferentes tratamientos.

Harina	Parámetros		
	<i>L</i> ±SD	<i>a</i> ±SD	<i>b</i> ±SD
	88,07 ± 0,00	0,30 ± 0,01	13,92 ± 0,00
<b>CORTEZA</b>			
Tratamientos	Parámetros		
	<i>L</i> ±SD	<i>a</i> ±SD	<i>b</i> ±SD
T1.F1	46,68 ± 0,00 <sup>a</sup>	18,34 ± 0,01 <sup>c</sup>	32,97 ± 0,05 <sup>a</sup>
T2.F1	42,41 ± 0,00 <sup>b</sup>	17,03 ± 0,01 <sup>d</sup>	32,04 ± 0,03 <sup>b</sup>
T3.F1	30,15 ± 0,01 <sup>d</sup>	30,15 ± 0,01 <sup>a</sup>	20,14 ± 0,02 <sup>d</sup>
T1.F2	32,14 ± 0,02 <sup>c</sup>	18,92 ± 0,01 <sup>b</sup>	24,51 ± 0,03 <sup>c</sup>
T2.F2	28,92 ± 0,01 <sup>e</sup>	16,33 ± 0,01 <sup>e</sup>	17,73 ± 0,03 <sup>e</sup>
T3.F2	25,99 ± 0,02 <sup>f</sup>	12,12 ± 0,02 <sup>f</sup>	13,98 ± 0,04 <sup>f</sup>
<b>MIGA</b>			
Tratamientos	Parámetros		
	<i>L</i> ±SD	<i>a</i> ±SD	<i>b</i> ±SD
T1.F1	70,46 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,16 ± 0,01 <sup>f</sup>	20,05 ± 0,00 <sup>f</sup>
T2.F1	69,21 ± 0,00 <sup>b</sup>	2,56 ± 0,01 <sup>d</sup>	21,89 ± 0,01 <sup>d</sup>
T3.F1	68,30 ± 0,00 <sup>c</sup>	3,18 ± 0,03 <sup>a</sup>	26,47 ± 0,01 <sup>a</sup>
T1.F2	58,96 ± 0,01 <sup>f</sup>	2,44 ± 0,01 <sup>e</sup>	21,57 ± 0,00 <sup>e</sup>
T2.F2	61,94 ± 0,00 <sup>e</sup>	3,17 ± 0,01 <sup>b</sup>	25,86 ± 0,02 <sup>b</sup>
T3.F2	63,43 ± 0,00 <sup>d</sup>	2,75 ± 0,01 <sup>c</sup>	24,70 ± 0,01 <sup>c</sup>

\*Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos por el método de Duncan al 5% de significancia.

#### **4.4 Análisis de perfil de textura (TPA)**

##### **4.4.1 Análisis de perfil de textura por doble compresión**

En la Tabla 9 se muestran los valores promedios de las variables de textura. Para todas las variables resultó significativa la incidencia de la temperatura, la formulación y la interacción temperatura-formulación (Anexo B, Cuadros 10, 11, 12, 13, 14 y 15).

A medida que aumenta la temperatura se incrementa la dureza, este efecto puede deberse a la relación que guarda la temperatura y el contenido de agua. Cuando la temperatura es mayor, más humedad se pierde, bajas humedades se traducen en durezas altas ya que el agua le confiere suavidad a los productos. Rahman y Al-Farsi (2005) reportan que la disminución de la humedad genera incrementos en todas las variables de textura de productos alimenticios, incluida la dureza, resultados similares reportaron Hleap y Velasco (2010), Teruel et al. (2014) y Granados et al. (2014) en salchichas de tilapia, nugget de pollo y plátanos pelipita, harton y topocho respectivamente. Adicionalmente se observó que la textura de las muestras de mayor temperatura era cerrada (como se puede ver en el Anexo D), es decir, los alveolos formados por la evaporación de agua son uniformes y pequeños, esto se debe a que a mayor temperatura los cambios de la matriz alimenticia se dan mucho más rápido (Ziaiifar et al. 2009 y Melito y Farkas 2013). Osuna et al. (2013) reportaron que una miga más comprimida podrá contribuir a obtener una textura más firme.

**Tabla 9.** Características de textura por doble compresión para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Características de textura					
	<b>Dur.</b>	<b>Adh.</b>	<b>Coh.</b>	<b>Elas.</b>	<b>Gom.</b>	<b>Mas.</b>
	<b>N</b>	<b>Kg m/s<sup>2</sup></b>			<b>Kg m/s<sup>2</sup></b>	<b>Kg</b>
T1.F1	67,74 <sup>b</sup>	-0,44 <sup>c</sup>	0,53 <sup>b</sup>	0,85 <sup>a</sup>	36,42 <sup>b</sup>	3,16 <sup>c</sup>
T2.F1	67,78 <sup>b</sup>	-0,62 <sup>b</sup>	0,54 <sup>b</sup>	0,84 <sup>b</sup>	36,61 <sup>b</sup>	3,18 <sup>c</sup>
T3.F1	117,54 <sup>a</sup>	-1,02 <sup>a</sup>	0,47 <sup>c</sup>	0,83 <sup>c</sup>	55,85 <sup>a</sup>	4,73 <sup>a</sup>
T1.F2	59,11 <sup>d</sup>	-0,69 <sup>b</sup>	0,40 <sup>d</sup>	0,84 <sup>b</sup>	24,20 <sup>d</sup>	2,07 <sup>d</sup>
T2.F2	62,85 <sup>c</sup>	-0,77 <sup>b</sup>	0,47 <sup>c</sup>	0,85 <sup>a</sup>	24,99 <sup>d</sup>	2,18 <sup>d</sup>
T3.F2	67,04 <sup>b</sup>	-1,00 <sup>a</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,85 <sup>a</sup>	29,38 <sup>c</sup>	3,42 <sup>b</sup>

\*Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos por el método de Duncan al 5% de significancia.

Para la dureza las muestras de la formulación 1 fueron mayores en cualquiera de los casos respecto a las muestras de la formulación 2, esto también puede deberse a las humedades finales que fueron mayores para la formulación 2, adicionalmente la red de proteínas favorece la suavidad de los productos. Hernández y Duran (2010) reportaron valores de dureza para el pan de agua que oscilan entre 8,6 y 15 N. Melito y Farkas (2013) reportaron que la dureza tiene una relación inversa con el contenido graso, ya que la grasa ablanda la miga de productos horneados, resultados similares reporta De la Ossa y Rivera (2012). Plahar et al. (2006) reportaron valores de dureza en akaras fritas entre 6,5 y 11,6 N además concuerda en afirmar que la presencia de aire le da suavidad al producto.



En la medida que la temperatura del aceite aumentó, la adhesividad fue menor para una misma formulación. Las proteínas de la formulación 2 pueden contribuir a obtener valores de pegajosidad mayores. Los resultados obtenidos respecto a otros autores son buenos, ya que esta característica no es deseable en los productos fritos (Alvis et al. 2015). Hernández y Duran (2010) reportaron valores de adhesividad de -0,33 Kgf.mm en el pan de agua.

Para la formulación 1 se observó una ligera tendencia a la disminución de la cohesividad a medida que aumenta la temperatura, esto puede deberse a que la variable respuesta se ve afectada por la absorción de aceite, ya que interfiere con la interacción de las proteínas y carbohidratos entre sí, resultados similares obtuvo Melito y Farkas (2013) con valores de 0,26 y 0,57 en donas. En cambio para la formulación 2 la cohesividad aumenta a mayores temperaturas, este resultado podría soportarse con la red proteica reforzada que podría generarse por la adición de la leche (Anexo C), adicionalmente la absorción de aceite para estas muestras fue menor, este conjunto de características hacen que las muestras sean más resistentes a la deformación y la ruptura. Hernández y Duran (2010) reportaron valores de cohesividad entre 0,39 y 0,47 en el pan de agua; Morales (2013) reportó valores que oscilan entre 0,30 y 0,54 en buñuelos con emulsificante. Plahar et al. (2006) reportaron valores entre 0,15 y 0,23 en akaras fritas.

Los valores de elasticidad variaron entre 0,83 y 0,85; estos valores son buenos ya que las muestras se recuperaron entre un 83 y 85% luego de la deformación, la formación alveolar, resultado de la evaporación del agua, la red de proteínas y almidones, el contenido final de aceite y humedad, entre otros factores, contribuyen a la recuperación del producto. Hernández y Duran (2010) reportaron valores de elasticidad alrededor del

50% en el pan de agua. Morales (2013) en buñuelos con emulsificante reporta valores de elasticidad entre 0,86 y 0,90; Plahar et al. (2006) reportan en akaras fritas valores entre 0,58 y 0,61 mm.

La gomosidad aumentó a medida que aumenta la temperatura para una misma formulación y los valores promedios de la formulación 1 son mayores a los de la formulación 2, este mismo comportamiento lo presenta la masticabilidad, ya que ambas variables de respuesta se relacionan entre sí, sin embargo para ambas formulaciones a 150 y 160 °C no hay una diferencia significativa en la variable. Los productos más masticables son aquellos que tienen menor valor de masticabilidad ya que, desde el punto de vista sensorial, requiere más tiempo de deglución en la boca antes de tragarlo (Hernández y Duran, 2010). El aumento de la gomosidad y masticabilidad para una misma formulación se debe red formada por la gelatinización de almidones y desnaturalización de proteínas, lo cual conlleva a que se requiera más fuerza y energía para desintegrar las muestras hasta poder ser deglutido. Hernández y Duran (2010) reportaron una correlación positiva entre la dureza y la gomosidad, es decir, a mayor dureza, mayor gomosidad y masticabilidad, lo cual también se refleja en nuestro estudio. Plahar et al. (2006) obtuvieron valores de masticabilidad entre 0,6 y 1,4 N mm en akaras, valores muy por debajo a los obtenidos en este estudio.

#### **4.4.2 Análisis de perfil de textura por punción**

Los valores de fuerza de penetración de la corteza para los diferentes tratamientos se observan en la Tabla 10. Mediante el análisis de varianza se encontró que la temperatura de freído y la formulación, al igual que su interacción temperatura-formulación,

resultaron significativas y al aplicar el test de Duncan se encuentra que todas las medias presentan diferencias significativas (Anexo B, Cuadro 16).

**Tabla 10.** Características de textura por punción para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Características de dureza de la corteza
	N
T1.F1	5,57 <sup>f</sup>
T2.F1	10,18 <sup>b</sup>
T3.F1	15,25 <sup>a</sup>
T1.F2	7,30 <sup>e</sup>
T2.F2	8,65 <sup>d</sup>
T3.F2	9,46 <sup>c</sup>

\*Letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa entre los tratamientos por el método de Duncan al 5% de significancia.

A medida que aumenta la temperatura las cortezas se hacen más duras y los valores promedios de la formulación 1 son mayores a los de la formulación 2, excepto a 150 °C. Estas características se presentan ya que a medida que aumenta la temperatura se dan más rápidamente los cambios de la estructura del alimento y por ende la corteza se formará en un menor tiempo (Bouchon y Pyle 2005). Además, las cortezas son superficies secas y también se relacionan con la humedad final del producto, a menor humedad alcanzada, mayor dureza de la corteza. Melito y Farkas (2013) y Morales (2013) encontraron que la migración de humedad a la corteza la hace más blanda. Hernández y Duran (2010) reportan valores de firmeza de corteza para el pan de agua que oscilan entre 16 y 22 N, Morales (2013) reportó valores de firmeza de la corteza

entre 21 y 28 N para buñuelos de almidón agrio de yuca, Melito y Farkas (2013) reportaron que oscilaron entre 0,77 y 2,61 N para la corteza de donas.

#### 4.5 Evaluación sensorial

En la Tabla 11 se pueden apreciar los valores promedios obtenidos para cada atributo evaluado para los tratamientos. Las puntuaciones obtenidas son aceptables ya que en ninguno de los casos entran en la escala de desagrado. En ninguno de los atributos se encontró diferencia significativa (Anexo B, Cuadros 17, 18, 19, 20 y 21). En el caso del color los valores de las medias de las formulaciones muestran que la formulación 1 es más atractiva visualmente que la formulación 2, esto puede deberse a que en el primer caso se presenta un dorado marcado y en la formulación 2 es más oscuro; Patterson et al. (2002) reportaron valores promedios de color entre 7,2 y 7,7 en akaras fritas empleando 3 cultivares de frijol caupí.

**Tabla 11.** Valores promedios de los atributos sensoriales evaluados para buñuelos de frijol freídos a 150 °C.

Atributos	Formulación	
	Formulación 1	Formulación 2
Color	6,6 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>
Olor	6,4 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>
Sabor	6,2 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>
Textura	5,6 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>
Aceptación general	6,4 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>

\*Letras diferentes en una misma fila indican diferencia significativa entre los tratamientos.

En el caso del olor, podría deberse al olor característico de la harina que prima sobre la adición o no de leche; Patterson et al. (2002) reportaron valores entre 6,7 y 7,1 en akaras

fritas, valores por encima de los encontrados en este estudio; Mbofung et al. (2002) encontraron valores entre 6,08 y 7,04 en la miga de akaras preparadas con soluciones de sal alcalina, valores similares al encontrado en este estudio. Para el sabor se encontraron valores promedios superiores para la formulación 1, los cuales oscilaron en ambos casos en las escalas “Ni me gusta ni me disgusta” y “Me gusta ligeramente”; Patterson et al. (2002) reportaron valores que oscilan entre 6,4 y 6,8 en akaras fritas; Mbofung et al. (2002) reportan valores para el sabor que están entre 5,54 y 6,27. Para la textura los valores promedios se encuentran entre los términos hedónicos “Ni me gusta ni me disgusta” y “Me gusta ligeramente”, sin embargo 5 de los 60 catadores señalaron que estaban algo duros; Patterson et al. (2002) reportan valores entre 6,6 y 7,1; Mbofung et al. (2002) evaluaron la esponjosidad como atributo textural, obteniendo valores entre 4,62 y 6,23. Respecto a la aceptación general, los panelistas prefirieron las muestras de la formulación 1 por el conjunto de atributos que poseen situándolas entre los términos hedónicos “Ni me gusta ni me disgusta” y “Me gusta ligeramente”, pero las muestras quedaron en el mismo rango de escala y no hubo diferencia estadística entre ellas.

## 5. CONCLUSIONES

La caracterización bromatológica muestra que el frijol caupí y la harina obtenida son una fuente importante de nutrientes, resaltando el contenido de proteínas de 22,85% para el grano entero y 24,17 para la harina.

La pérdida de humedad y la absorción de aceite fueron influenciadas por la temperatura, a medida que esta aumentaba se obtuvo menos humedad y mayor absorción de aceite. Se obtuvieron coeficientes de difusividad de  $4,77 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $150^\circ\text{C}$ ,  $6,36 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $160^\circ\text{C}$  y  $6,49 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $170^\circ\text{C}$  para la formulación 1 y valores de  $3,64 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $150^\circ\text{C}$ ,  $4,33 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $160^\circ\text{C}$  y  $5,67 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $170^\circ\text{C}$  para la formulación 2.

El color de los buñuelos resultó influenciado por las variables temperatura y formulación. La corteza presentó mayores cambios, al contrario la miga mantuvo un color más estable.

El análisis de perfil de los buñuelos resultó dependiente de la temperatura y la formulación, los buñuelos presentan buena recuperación ante la deformación, son relativamente duros, gomosos, masticables, poco pegajosos y mantienen su forma.

El análisis sensorial arrojó que, de manera general, el olor, el sabor, la textura y el color de los buñuelos de frijol caupí quedaron ubicados entre los términos hedónicos “Ni me gusta ni me disgusta” y “Me gusta ligeramente”.

## **6. RECOMENDACIONES**

Evaluar la incidencia de diferentes métodos de obtención de harina de frijol caupí y estudiar el rendimiento de estas.

Determinar las propiedades tecnofuncionales de las harinas de frijol para potenciales usos como sustitutos de harina de trigo o incluirlas en matrices alimenticias.

Evaluar la incidencia de las microestructuras en las variables de textura.

Desarrollar un análisis sensorial descriptivo para determinar la incidencia de la absorción de aceite en la aceptación del producto.

Estudiar el mercado potencial de la harina de frijol caupí para consumo humano.



## **7. BIBLIOGRAFÍA**

AACC. (1986). Métodos de análisis de la asociación americana de química de cereales para determinar grasa. Chapter 12: 6.

Abu, J. O., Muller, K., Duodu, K. G. y Minnaar, A. (2005). Functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) flours and pastes as affected by  $\gamma$ -irradiation. Food Chemistry 93: 103-111.

Adebooye, O. C. y Singh, V. (2008). Physico-chemical properties of the flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Innovative Food Science & Emerging Technologies 9: 92-100.

Adedeji, A., Ngadi, M. y Raghavan, G. S. V. (2009). Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried chicken nuggets. Journal of Food Engineering 91: 146-153.

Alvis, A., Cortés, L. E. y Páez, M. (2009). Transferencia de calor y materia durante la fritura de trozos de ñame (*Dioscorea alata*). Información Tecnológica 20(1): 99-109.

Alvis, A., González, A. y Arrázola, G. (2015). Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (*Ipomoea Batatas* Lam) fritos por inmersión. Parte 2: Propiedades termofísicas y de transporte. Información Tecnológica 26(1): 103-116.

Alvis, A., Velez, P. C. y Arrazola, G. (2010). Efecto de la condiciones de freído sobre la pérdida de humedad y ganancia de aceite en trozos de ñame (*Dioscorea alata*). Ingeniería e Investigación 30(1): 41-44.

Alvis, A. y Velez, C. (2008). Modelado del proceso de fritura del ñame (*Dioscorea alata*) mediante mediciones reológicas usando la metodología de superficie de respuesta. Información Tecnológica 19(1):11-18.

- AOAC. (2000). Métodos de análisis de la asociación oficial de química analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína. Chapter 32: 1, 2, 5 y 14.
- Ateba, P. y Mittal, G. S. (1994). Modelling the deep-fat frying of beef meatballs. *International Journal of Food Science and Technology* 29: 429-440.
- Blumenthal, M. M. (1991). A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. *Food Technology* 94: 68-71.
- Bouchon, P. y Pyle, D. L. (2005). Modelling oil absorption during post-frying cooling: II: Solution of the mathematical model, model testing and simulations. *Food and Bioproducts Processing* 83: 261-272.
- Bourne M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press, 2nd edition. Pagina 15.
- Budžaki, S. y Seruga, B. (2005). Determination of convective heat transfer coefficient during frying of potato dough. *Journal of Food Engineering* 66: 307-314.
- Chen, L. y Linus U. O. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. *Journal of Food Engineering* 119: 497-507.
- Codex Standard 152 (1985). Norma del CODEX para la harina de trigo. (1): 1.
- Debnath, S., Bhat, K. K. y Rastogi, N. K. (2003). Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *LWT - Food Science and Technology* 36: 91-98.

De la Ossa, Y. y Rivera, C. (2012). Análisis comparativo del perfil de textura de los quesos frescos de cabra y vaca, con relación al contenido de grasa y tiempo de almacenamiento. Universidad de Cartagena, Cartagena. pp 91.

De Lourdes, M. y Gonzales, A. (2009). Estimación de los daños físicos y evaluación de la calidad de la fresa durante el manejo poscosecha y el transporte simulado. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. Páginas 100-101.

Díaz, M. F., Padilla, C., González, A. y Curbelo, F. (2002 a). Caracterización bromatológica de granos y forrajes en variedades de *Vigna unguiculata* de maduración no agrupada. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 36 (2): 193 - 200.

Díaz, M. F., Padilla, C., González, A. y Mora, C. (2002 b). Producción y composición bromatológica de harinas de vigna: de forrajes, integrales y de granos. Agricultura Técnica. 62 (2): 266-274.

Durán, M., Pedreschi, F., Moyano, P. y Troncoso, E. (2007). Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. Journal of Food Engineering 81:257-265.

FAO. 2009. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Consultado en 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/data/pf000090.htm>.

Farkas, B. E., Singh R. P. y Rumsey T. R. (1996a). Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I. Model development. Journal of Food Engineering 29: 211-226.

Farahnaky, A., Azizi, R. y Gavahian, M. (2012). Accelerated texture softening of some root vegetables by ohmic heating. Journal of Food Engineering 5(1): 39.

Gamble, M. H., Rice, P. y Seldam, J. D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from C.V. Record UK Tubers International. *Journal of Food Science and Technology* 22: 233–241.

González, A., Alvis, A. y Arrazola, G. (2015). Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (*Ipomoea Batatas* Lam) fritos por inmersión. Parte 1: Textura. *Información Tecnológica* 26: 95-102.

Granados, C., Acevedo, D., Cabeza, A. y Lozano, A. (2014). Análisis de perfil de textura en plátanos pelipita, hartón y topocho. *Información Tecnológica* 25: 35-40.

Hernández, M. y Duran, D. (2010). Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas* 10: 61-74.

Hleap, J. I. y Velasco V. A. (2010). Analisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 8(1): 46-56.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2005). TABLA DE COMPOSICION DE ALIMENTOS COLOMBIANOS. Disponible en: [http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos\\_colombianos/consulta\\_alimento.as](http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos_colombianos/consulta_alimento.as). Consultado Marzo 2016.

Jarma, S. (2014). Caracterización nutricional y determinación de ácido fítico como factor antinutricional de 43 genotipos de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L) Walp). Universidad de Córdoba. Montería. Paginas 8:27.

Kassama, L. y Ngadi, M. (2005). Pore development and moisture transfer in chicken meat during deep-fat frying. *Drying Technology* 23: 907-923.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V. y Maroulis Z. B. (2000). Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potatoes. *Journal of Food Engineering* 43: 147-154.

León R. A., Angulo, I., Jaramillo, M., Requena, F. y Calabrese, H. (1992). Caracterización química y valor nutricional de granos de leguminosas tropicales para alimentación de aves. *Zootecnia Tropical* 11: 151-170.

López, C. G. (2012). Valor nutricional del grano de caupí (*Vigna unguiculata*) para cerdos en crecimiento. *Temas Agrarios* (1): 50-51.

Macêdo, G. K., Aparecida, M. R. y Gomes, J. A. (2008). Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 28(2): 470-476.

Maldonado, L. (2005) Obtención y degustación de papillas de alto valor energético/proteico en base a tubérculo-cereal-leguminosa en la zona de Candelaria, Bolivia. *Agricultura y Nutrición* 2: 20-25.

Marcano, J., La Rosa, Y. y Salinas, N. (2010). Influencia del proceso de fritura en profundidad sobre el perfil lipídico de la grasa contenida en patatas tipo "french", empleando oleína de palma. *Grasas y Aceites* 61 (1): 24-29.

Math, R. G., Velu, V., Nagender, A. y Rao, D. G. (2004). Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of *papad*. *Journal of Food Engineering* 64: 429-434.

- Mbofung, C. M. F., Njintang, Y. N. y Waldron, K. W. (2002). Functional properties of cowpea-soy-dry red beans composite flour paste and sensorial characteristics of akara (deep fat fried food): effect of whipping conditions, pH, temperature and salt concentration. *Journal of Food Engineering* 54: 207-214.
- Melito, H. S. y Farkas, B. E. (2013). Effect of infrared finishing process parameters on physical, mechanical, and sensory properties of par-fried, infrared-finished gluten-free donuts. *Journal of Food. Engineering* 117: 399-407.
- Mir-Bel, J., Oria, R. y Salvador, M. L. (2012). Influence of temperature on heat transfer coefficient during moderate vacuum deep-fat frying. *Journal of Food Engineering* 113: 167-176.
- Mittelman, N., Mizrahi, S. y Berk, Z. (1984). Heat and mass transfer in frying. B.M McKenna (Ed.), *Engineering and food*, Elsevier Applied Science Publishers, London. 109-116.
- Morales, J., Vélez, J. (2011). Estudio del efecto combinado del secado y freído en las propiedades de tortillas tostadas. *Información Tecnológica* 22 (2): 55-68.
- Morales, M. (2013). Evaluación de la adición de emulsificantes y componentes fisiológicamente activos en la elaboración de buñuelo. Universidad Nacional. Medellín. Páginas 43-44.
- Moreira, R., Da Silva, P. y Gomes, C. (1997). The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips. *Journal of Food Engineering* 92: 297-304.

- Nasiri, F. D., Mohebbi, M., Yazdi, F. T. y Haddad, M.H. (2011). Kinetic modeling of mass transfer during deep fat frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step. *Food and Bioproducts Processing* 89: 241-247.
- Norma Técnica Colombiana (NTC) 871(2005). Frijol. 2da actualización (1): 3-4.
- Nyun, D., Lim, J., Young, I., Gyu, H. y Lee, S. (2011). Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering* 102: 317-320.
- Olivier, O., Dufour, D., Trystram, G. y Raoult-Wack, A. (2002). Characterization of heat and mass transfer during deep-fat frying and its effect on cassava chip quality. *Journal of Food Engineering* 53: 161-176.
- Oluwatosin, O. (1999). Genotype  $\times$  environment influence on cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) antinutritional factors; 1- Trypsin inhibitors, tannins, phytic acid and haemagglutinin. *Journal of Science Food and Agriculture* 79: 256 – 272.
- Osuna, M., Judis, M., Romero, A. y Bertola, N. (2013). Características texturales y de color en panes con mezclas de harinas. Publitec S.A. Disponible en: [http://www.publitec.com.ar/system/noticias.php?id\\_prod=414](http://www.publitec.com.ar/system/noticias.php?id_prod=414).
- Özkan, M., Kirca, A. y Cemeroğlu, B. (2003). Effect of moisture content on CIE color values in dried apricots. *European Food Research and Technology* 216(3): 217–219.
- Patterson, S. P., McWatters, K. H., Hung, Y. C., Chinnan, M. S. y Phillips, R. D. (2002). Physico-chemical properties and consumer acceptability of akara (fried paste) made from three cowpea cultivars. *Food Research International* 35: 691-696.



- Peralta, E. (2010). Producción y distribución de semillas de buena calidad con pequeños agricultores de granos andinos Chocho, Quinoa, Amaranto. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Página 32-36.
- Perusko, M., Al-Hanish, A., Cirkovic V. T. y Stanic-Vucinic, D. (2015). Macromolecular crowding conditions enhance glycation and oxidation of whey proteins in ultrasound-induced Maillard reaction. Food Chemistry 177: 248-257.
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A. e Hincapié, B. (2011). Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores del trópico americano. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) 374(1): 212-215.
- Plahar, M. A., Hung, Y. C., McWatters, K. H., Phillips, R. D. y Chinnan, M. S. (2006). Effect of saponins on the physical characteristics, composition and quality of akara (Fried cowpea paste) made from non-decorticated cream cowpeas. Revista LWT - Food Science and Technology 39: 275-284.
- Prinyawiwatkul, W., McWatters, K. H., Beuchat, L. R. y Phillips, R. D. (1997). Functional characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour and starch as affected by soaking, boiling, and fungal fermentation before milling. Food Chemistry 58: 361-372.
- Rahman, M. y Al-Farsi, S. (2005). Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content. Journal of Food Engineering 66: 505-511.
- Reddy, G. V. y Das, H. (1993). Kinetics of deep-fat-frying of potato and optimization of process variables. Journal of Food Science 30(2): 105-108.

- Rimac-Brnčić, S., Lelas, V., Rade, D. y Šimundić, B. (2004). Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 64: 237–241.
- Romero, B. (2006). Elaboración y caracterización de una harina de maiz, soya y zanahoria para la elaboracion de una sopa instantanea. Universidad de la Salle. Bogotá. Pagina 47.
- Shih, F. F., Daigle, K. W. y Clawson, E. L. (2001). Development of low oil-uptake donuts. *Journal Food Science* 66: 141–144.
- Singh, R. P. (1995). Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. *Food Technology* 35: 134-137.
- Singh, S., Kundu, S. S., Negi, A. S. y Singh, P. N. (2006). Cowpea (*Vigna unguiculata*) legume grains as protein source in the ration of growing sheep. *Small Ruminant Research* 64: 247-254.
- Sosa, M. E., Orzuna, R., Vélez, J. (2006). Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering* 77: 731-738.
- Szczesniak, A. S. (1963a). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science* 28: 385-389.
- Szczesniak, A. S. (1963b). Objective measurements of food texture. *Journal of Food Science* 28: 410-420.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference* 13(4): 215-225.

- Tan, K. J. y Mittal, G.S. (2006). Physiochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *Int. J. Food Prop.* 9:85–98.
- Teruel, M. R., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., Linares, M. B. y Garrido, M.D. (2014). Use of vacuum-frying in chicken nugget processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 26: 482-489.
- Varela, G., Bender, A. E. y Morton, I. D. (1988). Frying of food. Principles, changes, new approaches. *Food Science* (1): 125-134.
- Vargas, A., Villamil, O., Murillo, E., Murillo, W., y Solanilla, J. (2012). Caracterización fisicoquímica y nutricional de la harina de frijol caupí *Vigna unguiculata* L. cultivado en Colombia. *Revista Vitae* 19: 320-321.
- Velez, J. F., y Hernandez, J. X. (1999). Proceso de fritura en alimentos: una revisión. *Información Tecnológica* 10: 127-134.
- Vélez, J. F., Sosa M. E. (2003). Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. *Int. J. Food Prop.* 6(2): 341-353.
- X-RITE Ltda. 2002. Guía para entender la comunicación del color. Páginas 9-12.
- Yıldız, A., Palazoğlu, T. K. y Erdoğan, F. (2007). Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering* 79: 11-17.
- Ziaifar, A., Heyd, B., Courtois, F. (2009). Investigation of effective thermal conductivity kinetics of crust and core regions of potato during deep-fat frying using a modified Lees method. *Journal of Food Engineering* 95: 373-378.

# **ANEXOS**

**Anexo A.** Formato de evaluación sensorial.

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Frente a usted se presentan dos muestras de buñuelos de frijol. Por favor observe, huela y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra empleando una escala hedónica, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Nota: recuerde tomar agua entre muestra y muestra.

Puntaje	Nivel de agrado	Puntaje	Nivel de agrado
1	Me disgusta muchísimo	2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente	4	Me disgusta ligeramente
5	Ni me gusta ni me disgusta	6	Me gusta ligeramente
7	Me gusta moderadamente	8	Me gusta mucho
9	Me gusta muchísimo		

Código	Calificación para cada atributo				
	Color	Aroma	Sabor	Textura	Aceptación general
065					
606					

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

¡Muchas Gracias!

**Anexo B.** Análisis de varianza y test de medias para los análisis realizados.

**Cuadro 1.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de humedad.

ANOVA							
Fuente		GL	SC	MC	F (5%)		
Temperatura		2	86,137	43,0686	6486,65		
Formulación		1	0,069	0,0693	10,43		
Interacción		2	35,633	17,8166	2683,39		
Error		12	0,08	0,0066			
Total		17	121,919				
TEST DE MEDIAS							
Z		√CMerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,04690416	D6	0,13935853	T1.F2	40,05	a
Z5	3,36		D5	0,13771902	T2.F2	37,18	b
Z4	3,33		D4	0,13648938	T1.F1	37,08	b
Z3	3,23		D3	0,1323906	T2.F1	36,39	c
Z2	3,08		D2	0,12624243	T3.F2	35,12	d
					T3.F1	31,41	e

**Cuadro 2.** ANOVA y test de Duncan para la absorción de aceite.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC	F (5%)	
Temperatura		2	54,2233		27,1116	87,26	
Formulación		1	6,996		6,996	22,52	
Interacción		2	21,2826		10,6413	34,25	
Error		12	3,7284		0,3107		
Total		17	86,2302				
TEST DE MEDIAS							
Z		√CMerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,321817754	D6	1,09418036	T3.F1	13,358	a
Z5	3,36		D5	1,08130765	T2.F1	9,409	b
Z4	3,33		D4	1,07165312	T3.F2	9,242	b
Z3	3,23		D3	1,03947134	T2.F2	8,636	b
Z2	3,08		D2	0,99119868	T1.F2	7,626	c
					T1.F1	6,478	d

**Cuadro 3.** ANOVA y test de Duncan para el coeficiente de difusividad.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC	F (5%)	
Temperatura		2	10,7631		5,38155	1068,55	
Formulación		1	7,9146		7,91463	1571,52	
Interacción		2	1,2122		0,60608	120,34	
Error		12	0,0604		0,00504		
Total		17	19,9503				
TEST DE MEDIAS							
Z		√CMerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,0409878	D6	0,13935853	T3.F1	6,49 x10 <sup>-6</sup>	a
Z5	3,36		D5	0,13771902	T2.F1	6,36 x10 <sup>-6</sup>	a
Z4	3,33		D4	0,13648938	T3.F2	5,67 x10 <sup>-6</sup>	b
Z3	3,23		D3	0,1323906	T1.F1	4,77 x10 <sup>-6</sup>	c
Z2	3,08		D2	0,12624243	T2.F2	4,33 x10 <sup>-6</sup>	d
					T1.F2	3,64 x10 <sup>-6</sup>	e

**Cuadro 4.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de color del valor *L* de la corteza.

ANOVA							
Fuente		GL	SC	MC	F (5%)		
Temperatura		2	400,81	200,342	1803079,05		
Formulación		1	518,10	518,098	4662882,45		
Interacción		2	97,78	48,969	440718,45		
Error		12	0,02	0,00160			
Total		17	1016,72				
TEST DE MEDIAS							
Z		√CMerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,02309401	D6	0,07851964	T1.F1	46,68	a
Z5	3,36		D5	0,07759588	T2.F1	42,41	b
Z4	3,33		D4	0,07690306	T1.F2	32,14	c
Z3	3,23		D3	0,07459365	T3.F1	30,15	d
Z2	3,08		D2	0,07112955	T2.F2	28,92	e
					T3.F2	25,99	f

**Cuadro 5.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de color del valor *a* de la corteza.

ANOVA							
Fuente		GL	SC	MC	F (5%)		
Temperatura		2	67,6575	33,8287	1709,96		
Formulación		1	6,7467	6,7467	341,03		
Interacción		2	13,4194	6,7097	339,16		
Error		12	0,2374	0,0198			
Total		17	88,061				
TEST DE MEDIAS							
Z		√CMerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,08124038	D6	0,27621731	T3.F1	30,15	a
Z5	3,36		D5	0,27296769	T1.F2	18,92	b
Z4	3,33		D4	0,27053048	T1.F1	18,34	c
Z3	3,23		D3	0,26240644	T2.F1	17,03	d
Z2	3,08		D2	0,25022038	T2.F2	16,33	e
					T3.F2	12,12	f

**Cuadro 6.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de color del valor *b* de la corteza.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC		F (5%)
Temperatura		2	425,365		212,683		194329,35
Formulación		1	418,183		418,183		382096,32
Interacción		2	52,955		26,478		24192,75
Error		12	0,013		0,001		
Total		17	896,517				
TEST DE MEDIAS							
Z		√CMerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,01825742	D6	0,06207522	T1.F1	32,97	a
Z5	3,36		D5	0,06134493	T2.F1	32,04	b
Z4	3,33		D4	0,0607972	T1.F2	24,51	c
Z3	3,23		D3	0,05897146	T3.F1	20,14	d
Z2	3,08		D2	0,05623285	T2.F2	17,73	e
					T3.F2	13,98	f



**Cuadro 7.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de color del valor *L* de la miga.

ANOVA							
Fuente		GL	SC	MC	F (5%)		
Temperatura		2	4,323	2,162	43230,78		
Formulación		1	279,582	279,582	5591648,45		
Interacción		2	33,618	16,809	336181,44		
Error		12	0,001	8,3333E-05			
Total		17	317,524				
TEST DE MEDIAS							
Z		√CMerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,00527046	D6	0,01791957	T1.F1	70,46	a
Z5	3,36		D5	0,01770875	T2.F1	69,21	b
Z4	3,33		D4	0,01755064	T3.F1	68,30	c
Z3	3,23		D3	0,01702359	T3.F2	63,43	d
Z2	3,08		D2	0,01623303	T2.F2	61,94	e
					T1.F2	58,96	f

**Cuadro 8.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de color del valor *a* de la miga.

ANOVA							
Fuente		GL	SC	MC	F (5%)		
Temperatura		2	1,55008	0,775039	23251,17		
Formulación		1	0,10734	0,107339	3220,17		
Interacción		2	0,85188	0,425939	12778,17		
Error		12	0,0004	0,000033			
Total		17	2,50969				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,00331662	D6	0,01127652	T3.F1	3,18	a
Z5	3,36		D5	0,01114386	T2.F2	3,17	b
Z4	3,33		D4	0,01104436	T3.F2	2,75	c
Z3	3,23		D3	0,0107127	T2.F1	2,56	d
Z2	3,08		D2	0,0102152	T1.F2	2,44	e
					T1.F1	2,16	f

**Cuadro 9.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de color del valor *b* de la miga.

ANOVA							
Fuente		GL	SC	MC	F (5%)		
Temperatura		2	70,238	35,119	316070,55		
Formulación		1	6,894	6,8944	62049,8		
Interacción		2	24,833	12,4163	111746,45		
Error		12	0,001	0,0001			
Total		17	101,966				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,4	0,0057735	D6	0,01962991	T3.F1	26,47	a
Z5	3,36		D5	0,01939897	T2.F2	25,86	b
Z4	3,33		D4	0,01922576	T3.F2	24,70	c
Z3	3,23		D3	0,01864841	T2.F1	21,89	d
Z2	3,08		D2	0,01778239	T1.F2	21,57	e
					T1.F1	20,05	f

**Cuadro 10.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de dureza.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC	F (5%)	
Temperatura		2	45622287		22811143	94,87	
Formulación		1	34745933		34745933	144,51	
Interacción		2	21243301		10621651	44,18	
Error		18	4327807		240434		
Total		23	105939328				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,32	200,1807517	D6	664,6000955	T3.F1	117,54	a
Z5	3,27		D5	654,5910579	T2.F1	67,78	b
Z4	3,21		D4	642,5802128	T1.F1	67,74	b
Z3	3,12		D3	624,5639452	T3.F2	67,04	b
Z2	2,97		D2	594,5368324	T2.F2	62,85	c
					T1.F2	59,11	d

**Cuadro 11.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de adhesividad.

ANOVA							
Fuente		GL	SC	MC	F (5%)		
Temperatura		2	0,62377	0,311883	20,2		
Formulación		1	0,09004	0,090037	5,83		
Interacción		2	0,05834	0,029171	1,89		
Error		18	0,27792	0,01544			
Total		23	1,05007				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,32	0,050728033	D6	0,16841707	T3.F1	-1,02	a
Z5	3,27		D5	0,165880668	T3.F2	-1,00	a
Z4	3,21		D4	0,162836986	T2.F2	-0,77	b
Z3	3,12		D3	0,158271463	T1.F2	-0,69	b
Z2	2,97		D2	0,150662258	T2.F1	-0,62	b
					T1.F1	-0,44	c

**Cuadro 12.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de elasticidad.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC		F (5%)
Temperatura		2	0,0003831		0,0001915		5,31
Formulación		1	0,0011344		0,0011344		31,45
Interacción		2	0,0011813		0,0005906		16,37
Error		18	0,0006492		0,0000361		
Total		23	0,003348				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,32	0,002452889	D6	0,008143593	T3.F2	0,85	a
Z5	3,27		D5	0,008020949	T2.F2	0,85	a
Z4	3,21		D4	0,007873775	T1.F1	0,85	a
Z3	3,12		D3	0,007653015	T2.F1	0,84	b
Z2	2,97		D2	0,007285082	T1.F2	0,84	b
					T3.F1	0,83	c

**Cuadro 13.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de cohesividad.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC	F (5%)	
Temperatura		2	0,0075677		0,0037839	9,31	
Formulación		1	0,002926		0,002926	7,2	
Interacción		2	0,0539891		0,0269945	66,45	
Error		18	0,0073128		0,0004063		
Total		23	0,0717956				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,32	0,008229014	D6	0,027320326	T3.F2	0,58	a
Z5	3,27		D5	0,026908875	T2.F1	0,54	b
Z4	3,21		D4	0,026415134	T1.F1	0,53	b
Z3	3,12		D3	0,025674523	T2.F2	0,47	c
Z2	2,97		D2	0,024440171	T3.F1	0,47	c
					T1.F2	0,40	d

**Cuadro 14.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de gomosidad.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC	F (5%)	
Temperatura		2	14195217		7097609	118,53	
Formulación		1	9588329		9588329	160,13	
Interacción		2	278128		139064	2,32	
Error		18	1077814		59879		
Total		23	25139488				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,32	99,89911578	D6	331,6650644	T3.F1	55,85	a
Z5	3,27		D5	326,6701086	T2.F1	36,61	b
Z4	3,21		D4	320,6761616	T1.F1	36,42	b
Z3	3,12		D3	311,6852412	T3.F2	29,38	c
Z2	2,97		D2	296,7003739	T2.F2	24,99	d
					T1.F2	24,20	d

**Cuadro 15.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de masticabilidad.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC	F (5%)	
Temperatura		2	9694583		4847292	130,7	
Formulación		1	6444146		6444146	173,76	
Interacción		2	63013		31506	0,85	
Error		18	667556		37086		
Total		23	16869297				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,32	78,61933604	D6	261,0161957	T3.F1	4,73	a
Z5	3,27		D5	257,0852289	T3.F2	3,42	b
Z4	3,21		D4	252,3680687	T2.F1	3,18	c
Z3	3,12		D3	245,2923285	T1.F1	3,16	c
Z2	2,97		D2	233,4994281	T2.F2	2,18	d
					T1.F2	2,07	d

**Cuadro 16.** ANOVA y test de Duncan para la determinación de dureza por punción.

ANOVA							
Fuente		GL	SC		MC	F (5%)	
Temperatura		2	1558366		779183	373,62	
Formulación		1	245726		245726	117,83	
Interacción		2	638905		319452	153,18	
Error		18	37538		2085		
Total		23	2480536				
TEST DE MEDIAS							
Z		√Cmerror/n	D		Medias Ordenadas		
Z6	3,32	18,64135188	D6	61,88928825	T3.F1	15,25	a
Z5	3,27		D5	60,95722066	T2.F1	10,18	b
Z4	3,21		D4	59,83873954	T3.F2	9,46	c
Z3	3,12		D3	58,16101787	T2.F2	8,65	d
Z2	2,97		D2	55,36481509	T1.F2	7,30	e
					T1.F1	5,57	f

**Cuadro 17.** ANOVA para la evaluación sensorial del color.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>F (5%)</b>
Formulación	1	2,7	2,7	1,03
Error	118	309	2,62	
Total	119	311,7		

**Cuadro 18.** ANOVA y test de Duncan para la evaluación sensorial del olor.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>F (5%)</b>
Formulación	1	0,21	0,21	0,08
Error	118	300,78	2,55	
Total	119	300,99		

**Cuadro 19.** ANOVA para la evaluación sensorial del sabor.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>F (5%)</b>
Formulación	1	2,41	2,41	0,71
Error	118	400,58	3,39	
Total	119	402,99		

**Cuadro 20.** ANOVA para la evaluación sensorial de la textura.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>F (5%)</b>
Formulación	1	0,01	0,01	0,00
Error	118	425,17	3,6	
Total	119	425,17		

**Cuadro 21.** ANOVA para la evaluación sensorial de la aceptación general.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>F (5%)</b>
Formulación	1	2,13	2,13	1,06
Error	118	238,23	2,02	
Total	119	240,37		

**Anexo C.** Caracterización bromatológica de las masas de las formulaciones.

<b>NUTRIENTE</b>	<b>FORMULACIÓN</b>	
	<b>F1</b>	<b>F2</b>
Humedad	51,71 ± 0,05	49,54 ± 0,11
Ceniza*	7,20 ± 0,25	7,34 ± 0,38
Grasa*	2,83 ± 1,04	3,28 ± 2,16
Fibra*	1,76 ± 1,18	1,59 ± 2,32
Carbohidratos*	64,31 ± 1,26	62,05 ± 1,15
Proteína*	23,87 ± 0,75	25,72 ± 0,50

\*Porcentajes en base seca.

**Anexo D.** Evidencias fotográficas de muestras para análisis de perfil de textura.

**Foto 1.** Muestras de la formulación 1 freídas a 150 °C.



**Foto 2.** Muestras de la formulación 1 freídas a 160 °C.



**Foto 3.** Muestras de la formulación 1 freídas a 170 °C.





**Foto 4.** Muestras de la formulación 2 freídas a 150 °C.



**Foto 5.** Muestras de la formulación 2 freídas a 160 °C.



**Foto 6.** Muestras de la formulación 2 freídas a 170 °C.

